



ХИМИЯ

Новое
в жизни,
науке,
технике

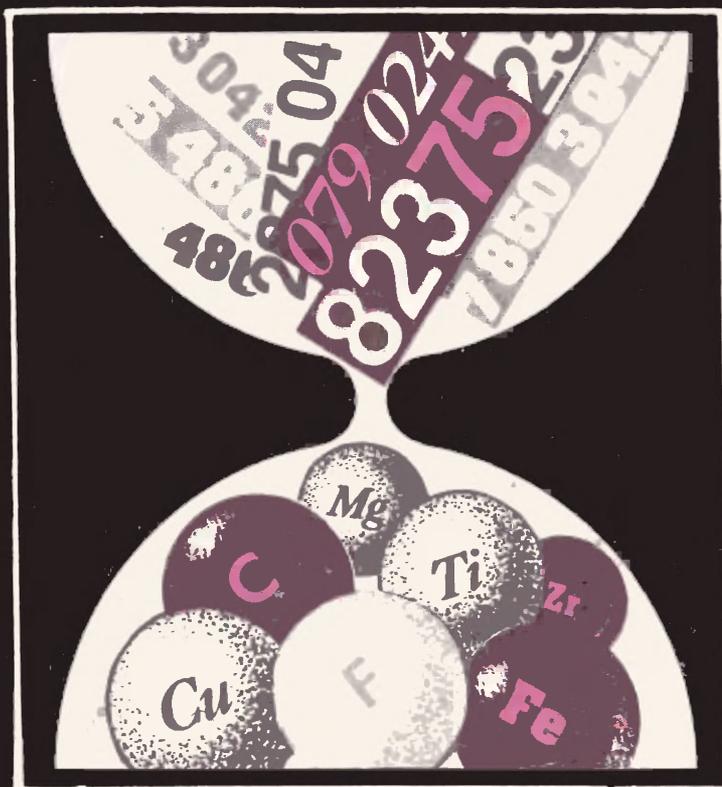
Подписная
научно-
популярная
серия

Издается
ежемесячно
с 1964 г.

Г.Г.Диогенов
С.Б.Леонов

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОЧЕРКИ О ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ

1989/6



**Новое
в жизни,
науке,
технике**

ХИМИЯ

**Подписная
научно-
популярная
серия**

6/1989

**Издается
ежемесячно
с 1964 г.**

**Г. Г. Диогенов,
С. Б. Леонов**

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОЧЕРКИ О ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ

(ХИМИЯ, ЭКОНОМИКА, ЭНЕРГЕТИКА)

РЕДАКЦИОННЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ



**Издательство
«Знание»
Москва
1989**

ББК 24
Д 47

Авторы: ДИОГЕНОВ Геннадий Герасимович — кандидат химических наук, профессор кафедры общей и неорганической химии Иркутского политехнического института; ЛЕОНОВ Сергей Борисович — доктор технических наук, ректор Иркутского политехнического института.

Редактор *Е. Р. ВОРОНЦОВА*

Диогенов Г. Г., Леонов С. Б.

Д 47 Экономические очерки о химических элементах.—
М.: Знание, 1989.—48 с.— (Новое в жизни, науке,
технике. Сер. «Химия»; № 6).

ISBN 5-07-000620-7

15 к.

В очерках приводятся краткие сведения о распространенности в земной коре главных природных соединений, мировой добыче и важнейших областях использования всех химических элементов периодической системы Д. И. Менделеева.

1701000000

ББК 24

ISBN 5-07-000620-7

© Издательство «Знание», 1989 г.

Первыми элементами, с которыми познакомилось человечество около пяти тысяч лет назад, были золото, серебро, медь, олово, свинец, ртуть, железо, сера и углерод. Естественно, никаких численных данных о добыче этих элементов и их соединений в те отдаленные времена не было, но можно считать, что их добывали лишь сотнями и тысячами тонн.

В течение нескольких столетий народонаселение земного шара стремительно увеличивалось (три века назад пятьсот миллионов, сейчас свыше пяти миллиардов), а потому возрастала потребность в различных материалах, появилась нужда в новых веществах с иными свойствами, которые можно было найти в земных недрах или получить искусственным путем.

В средние века стали известными цинк, сурьма, висмут, мышьяк, кобальт, фосфор и платина, в XVIII в. были открыты еще 15 элементов, но подавляющее их большинство, а именно 55 элементов, были открыты в прошлом веке, который оказался в этом отношении самым плодотворным. В течение нашего столетия получено всего лишь 22 элемента. Следует отметить, что, хотя в последние столетия было открыто много элементов, в сферу практического применения их вовлекали очень медленно. Так, из 83 элементов, известных в конце прошлого века, практически использовалось всего лишь 15 элементов.

В чистом виде простые вещества используются сравнительно редко, а чаще всего в виде различных сплавов (металлы) или в составе различных сложных веществ (металлы и неметаллы). Поэтому под мировой добычей того или иного элемента мы разумеем его добычу не только в виде простого вещества, но и в составе соединений. В самом деле, можно ли судить о добыче натрия по его получению в металлическом виде? Разумеется, что нет, ибо металл получается из поваренной соли, так же как почти все другие соединения натрия (сода, едкий натр, пероксид натрия, цианид

натрия). Кроме того, почти четверть добываемой поваренной соли используется в качестве приправы к пище и для консервирования продуктов, а потому, говоря о мировой добыче натрия, мы говорим прежде всего о добыче поваренной соли.

Естественно, что значимость отдельных элементов неодинакова. Сейчас известно два десятка элементов, мировая добыча которых составляет свыше одного миллиона тонн (или одной мегатонны*) в год (водород, бор, углерод, азот, кислород, фтор, натрий, алюминий, кремний, фосфор, сера, хлор, калий, кальций, хром, марганец, железо, медь, цинк, барий, свинец и титан). Интересно отметить, что, кроме бария и свинца, все они расположены в верхней части периодической системы, резко различны по своим свойствам химической активности, токсичности, трудности получения в чистом виде. Общим для этих элементов является то, что они играют важнейшую роль в промышленности, являются главными составными частями строительных, конструкционных и энергетических материалов, исключительно важными веществами в жизни человека, животных и растительных организмов.

В то же время есть элементы, которые получают в граммовых, миллиграммовых количествах и даже в пределах нескольких атомов. Понятно, что роль последних, по крайней мере сейчас, ничтожно мала, и не будь их, в повседневной жизни существенным образом ничего не изменится. К ним прежде всего относятся искусственные элементы (фермий, менделевий, нобелий, лоуренсий, курчатовий, эйнштейний, астат, америций, кюрий, берклий). Есть и такие элементы, которые встречаются в земной коре, но в силу того, что они чрезвы-

* Здесь и далее для удобства обозначения вместо привычных в производственных показателях тысяч (10^3), миллионов (10^6), миллиардов (10^9) и триллионов (10^{12}) тонн будет применяться краткая международная система приставок, соответствующих определенной степени десяти (кило-, мега-, гига-, тера-, пета-, экса-):

$$10^3 \text{ т} = 1 \text{ кт}, 10^6 \text{ т} = 1 \text{ Мт}, 10^9 \text{ т} = 1 \text{ Гт},$$

$$10^{12} \text{ т} = 1 \text{ Тт}, 10^{15} \text{ т} = 1 \text{ Пт}, 10^{18} \text{ т} = 1 \text{ Эт}.$$

В международной системе физических единиц (СИ) тонна является не основной, а производной единицей массы, но широко используется для выражения крупных массовых чисел.

чайно рассеяны и радиоактивны, не находят специфического применения, производятся от случая к случаю и в очень небольших количествах (франций, актиний, полоний, протактиний).

Не остается неизменной значимость элементов и в области их применения. Так, в начале нашего века радий как средство для лечения злокачественных опухолей и источник радиоактивного излучения ценился очень высоко, теперь же, когда для этих целей служат другие вещества, радий утратил свое былое значение. Если взять медь, то она была, есть и будет одним из важнейших металлов, но области ее использования со временем резко изменились. Раньше медь — только компонент сплавов, теперь — основной материал электрических проводов. Такую картину можно нарисовать для подавляющего большинства элементов. Например, свинец в древности использовался главным образом при извлечении серебра из руд и изготовлении водопроводных труб и посуды, в средние века — в военном деле, теперь же для изготовления кислотных аккумуляторов, антидетонационных добавок, различных сплавов и защиты от жестких излучений.

Надо иметь в виду и то обстоятельство, что добыча почти половины элементов происходит попутно, при комплексном использовании минерального сырья. Например, все серебро, которое добывается в настоящее время, это то, что получают при переработке свинцово-цинковых руд, а также то, что извлекают при рафинировании меди и золота. Так же добываются и другие элементы (селен, теллур, германий, гафний, рений, таллий, галлий, висмут, рубидий, цезий, ванадий, индий, платина, рутений, осмий, иридий, родий, палладий). Отсюда следует сделать вывод, что добыча многих элементов-спутников определяется масштабами добычи распространенных элементов, а также совершенством технологии переработки минерального сырья. Следует отметить также и то, что числовые показатели добычи и использования химических элементов публикуются у нас и за рубежом нерегулярно, но даже приближенные цифры дают вполне определенное представление о мировом потреблении конкретных химических веществ.

Водород занимает первое место в периодической системе элементов, является самым простым из всех известных атомов и самым легким газообразным веществом. Этот элемент входит в состав воды, нефти, угля, веществ животного и растительного происхождения, составляя в общей сложности около 0,1 % массы земной коры. Индивидуальность водорода была доказана лишь в 1766 г. английским естествоиспытателем Г. Кавендишем.

Интересно отметить, что водород — один из немногих элементов, который сравнительно быстро нашел важное техническое применение, а именно менее чем через два десятка лет после открытия французский физик Ж. Шарль использовал водород для наполнения воздушного шара.

В конце 30-х годов нашего века только в США было получено 9 кт водорода, причем половина его была использована на синтез аммиака, примерно четверть — на производство метанола, несколько меньше — на гидрирование нефтяных продуктов, а остальное количество — на получение изооктана. Мировое производство водорода растет стремительно: 1915 г.— 3,15 кт, 1925 г.— 135 кт, 1950 г.— 1131 кт, 1970 г.— 18 Мт, 1980 г.— 30 Мт, 1987 г.— около 50 Мт.

Чем же это вызвано? Кроме указанных выше областей применения, водород широко используется в металлургической промышленности (в производстве молибдена и вольфрама), при сварке и плавке металлов, гидрировании растительных масел, жидких и твердых топлив. Водород — перспективное топливо и для двигателей внутреннего сгорания, которые не будут давать вредных выхлопов, а тяжелые изотопы водорода (дейтерий и тритий) — необходимое сырье для получения термоядерной энергии.

Бор относится к остродефицитным элементам, и на его долю приходится всего 0,005 % массы земной коры. Встречается этот элемент только в виде кислородсодержащих соединений (солей борной и полиборных кислот натрия, кальция или магния), которые образуют в общей сложности около 80 минералов. Некоторые соединения бора были из-

вестны еще в средние века. Борная кислота была получена на столетие раньше открытия элементарного бора, который был выделен в 1808 г. французскими химиками Ж. Гей-Люссаком и Л. Тенаром.

Один из изотопов бора поглощает медленные нейтроны, что находит широкое применение в ядерной технике для регулирования скорости цепной реакции и для защиты от нейтронного облучения. Элементарный бор используется и в металлургической промышленности при легировании сталей и некоторых сплавов цветных металлов, а также для насыщения поверхности стали бором (в результате борирования сталь становится твердой и коррозионно-стойкой). Бориды характеризуются высокими температурами плавления и большой твердостью, а потому идут на изготовление деталей реактивных двигателей и обработку твердых сплавов. Бораны (бороводороды) служат основой реактивного топлива, борная кислота — эмали и глазури, специального стекла, дезинфицирующих средств, а ее соли — необходимый материал при сварке, резании и паянии металлов, а также одно из важнейших микроудобрений.

Естественно, что столь разнообразное применение бора и его соединений вызвало раннее и быстрое увеличение производства боропродуктов. В 1815 г. было начато промышленное производство борной кислоты, в 1840 г. ее производилось 1 кт, в 1854 г. — 2 кт, в 1919 г. — 30 кт, в 1935 г. — 260 кт, а в 1980 г. мировая добыча соединений бора возросла до 2400 кт.

В капиталистическом мире добыча соединений бора в основном сосредоточена в США, на долю которых приходится около 90 %, и в Турции, которая поставляет 8—9 % этого сырья.

В царской России добыча соединений бора не производилась, и вся потребность в них покрывалась за счет импорта. В 30-е годы было открыто богатое Индерское месторождение соединений бора, почти сразу же мы отказались от ввоза этого сырья из-за границы.

Углерод является одной из главных составных частей животных и растительных организмов, основой угля, нефти, природного газа и исключительно важ-

ной частью пищевых продуктов. В земной коре содержится около 0,1 % углерода. Естественно, что потребление углерода в составе различных органических соединений очень велико. За сто с лишним лет на Земле сожжено около 135 Гт угля, а нефти из земных недр добыто свыше 40 Гт. Если в конце 60-х годов было добыто около 4,5 Гт условного топлива, то в 70-е годы оно превысило 6 Гт, а в настоящее время достигло 9 Гт. Сейчас ежегодная мировая добыча нефти составляет около 3 Гт, природного газа — 1,4 км³, каменного угля — около 2,6 Гт. Особенно быстро развивается добыча горючих ископаемых в нашей стране, которая сейчас по добыче угля и нефти занимает первое место в мире.

В настоящее время имеется семь государств, в которых ежегодная добыча нефти превышает 100 Мт, девять государств, где добыча нефти составляет более 50 Мт в год, и тринадцать государств, в которых добывают больше 10 Мт в год, остальные же полтора-два десятка государств добывают от 1,5 до 8 Мт ежегодно. Интересно отметить, что в таких странах, как Саудовская Аравия, Иран, Венесуэла, Кувейт, Ливия, Нигерия, Ирак, Алжир и Катар, нефть начала добываться в начале или в конце первой половины текущего века и составляет основную долю экспорта (свыше 90 %).

Каменный уголь является основным топливом при получении электрической энергии, но лишь десять государств мира (СССР, США, Китай, ГДР, ФРГ, Польша, Великобритания, Индия, Австралия, Чехословакия) добывают его свыше 100 Мт в год и еще две страны (КНДР и ЮАР) — свыше 50 Мт в год. Остальные государства располагают гораздо меньшими количествами каменного угля.

Запасов горючих ископаемых в мире не так много, и некоторые ученые полагают, что из расчета ежегодного роста потребления существующих запасов угля хватит на сто лет, а нефти и природного газа — на два десятка лет. Естественно, что эти данные весьма приблизительны.

Общее количество алмазов, извлеченное из недр Земли с древнейших времен до нашего века, оценивается вели-

чиной всего лишь в сто с лишним тонн. В 30—40-е годы ежегодная мировая добыча алмазов составляла в среднем около 2 т, но затем увеличилась и в 1973 г. равнялась 7,8 т, а потом снова уменьшилась до 5 т в 1977 г. Сейчас примерно 90 % алмазов используется в промышленности и только около 10 % — для ювелирных целей. Среднегодовая мировая добыча графита (без СССР) составляет 250—300 кт.

Азот — один из немногих элементов, который содержится в свободном состоянии главным образом в воздухе — 75,6 % по массе (или 7,5 Мт над каждым квадратным километром земной поверхности). Достаточно часто свободный азот входит в состав природных газов. В очень малых количествах азот встречается в земной коре в виде нитратов натрия, реже калия и еще реже кальция. Открытие азота относят к 1772 г. и приписывают английскому естествоиспытателю Д. Резерфорду, но в этом же направлении и примерно в то же время работали такие ученые, как К. Шееле, Дж. Пристли, Г. Кавендиш, а также А. Лавуазье, который первым увидел в безжизненном газе вполне самостоятельный элемент.

В Чили залежи нитрата натрия известны давно, но обеспечить весь мир они не могли. Поэтому перед человечеством стал вопрос об изыскании азотных удобрений и методов получения их искусственным путем, т. е. о связывании азота воздуха, где его находится около 4000 Пт.

В самом начале нашего столетия научились соединять азот с кислородом (в вольтовой дуге) и превращать оксид азота в азотную кислоту и ее соли, затем стали получать кальцийцианамид, а еще несколько позже аммиак (из азота и водорода).

Острая необходимость в соединениях азота заставляет большинство государств мира непрерывно увеличивать их производство, улучшать технологию получения и снижать себестоимость, вследствие чего мировое производство азотных удобрений (в пересчете на азот) увеличилось с 2,6 Мт в 1913 г. до 98 Мт в 1985 г.

В царской России азотные удобрения производились в очень небольших коли-

чествах (в 1913 г. их было произведено 18,8 кт). По выработке минеральных удобрений наша страна до войны занимала четвертое место в мире, в 60-е годы — первое место в Европе и второе место в мире (после США), а в 70-е годы — первое место в мире (производство азотных, фосфорных и калийных удобрений в СССР достигло 22 Мт, а в США — 17 Мт). Наша страна, ранее импортировавшая удобрения, стала экспортером этого вида продукции.

Кислород является самым распространенным элементом в земной коре, одним из самых активных окислителей и самым необходимым для всего живого, ибо, как говорится, без кислорода жизнь не могла возникнуть и не может существовать. Кислород — элемент, с помощью которого осуществляется 80 % всех технологических процессов и образуется добрая половина всех известных веществ. На долю кислорода приходится 47 % массы земной коры, где этот элемент содержится в виде твердых (оксидов металлов, солей кислородсодержащих кислот), жидких (воды) и газообразных (диоксида азота, озона, диоксида углерода) веществ. Кислород получен в 1769—1774 гг. К. Шееле в Швеции и независимо Дж. Пристли в Англии.

Свободного кислорода, которым мы дышим и за счет которого протекают другие окислительные процессы, в атмосфере содержится 20,95 % по объему или 23,1 % по массе, что составляет 1500 Тт. Разумеется, это очень много, но это количество и расходуется очень быстро: в процессе дыхания кислород потребляют люди и животные. Огромные количества кислорода идут на сжигание угля, нефти и газа, окисление органических отходов, коррозию металлов, получение самых различных веществ и материалов. По подсчетам некоторых специалистов, в 70-е годы общее потребление кислорода составило свыше 55 км³, а в настоящее время ежегодно «на все формы сжигания топлива, на металлургическую и химическую продукцию... на различные виды окисления расходуется 10—20 Гт кислорода», что на 10—16 % превышает его биогенное воспроизводство. Только за последнее столетие человечество израсходовало около 240 Гт атмо-

сферного кислорода, а в атмосферу при этом поступило более 360 Гт углекислого газа.

Фтор в земной коре распространен достаточно широко и на его долю приходится 0,063 % ее массы. Все элементы обладают какими-либо специфическими свойствами, но у фтора их так много и они столь уникальны, что в этом плане он не может сравниться ни с одним из известных элементов. О существовании этого элемента догадывался еще А. Лавуазье, но выделен чистый фтор лишь в 1886 г. французским химиком А. Муассаном. Сколько-нибудь существенное применение фтор нашел только тогда, когда гексафторид урана был использован для разделения радиоактивных изотопов урана, а чуть позже фтор стал служить для получения фторопластов, хладагентов и для специфических исследовательских целей.

Естественно, что встречается чрезвычайно агрессивный фтор только в виде фторидов в основном легких металлов, которые образуют до 30 различных минералов. Небольшие его количества содержатся в природных водах, животных и растительных организмах. Сейчас фтор используется при производстве фторкаучуков, масел, в качестве окислителя реактивного топлива, при получении многих металлов (тория, бериллия, циркония, урана). Плавленый шпат (флюорит), как и прежде, применяется в металлургии в качестве флюса, для получения плавиковой кислоты, для производства глазурей и эмалей, в специальной оптике и в качестве катализатора.

Столь разнообразное и важное значение фтора вызвало быстрый рост добычи его соединений. Известно, что только с 1944 по 1963 г. (20 лет) плавикового шпата в капиталистических странах добыто 20,2 Мт, т. е. на каждый год в среднем приходится около 1 Мт, а в 1980 г. его было добыто около 9 Мт. Нет сомнения в том, что производство фтора и его соединений будет непрерывно возрастать, так как увеличивается производство атомной энергии, алюминия, фторорганических соединений и многих других веществ, связанных с потреблением больших количеств свободного фтора. Что же касается запасов в земной коре, то надо иметь в виду, что фтор

сильно рассеян в виде самых различных минералов, из подавляющего большинства которых его практически не добывают. Есть три минерала, из которых экономически целесообразно получать фтор: криолит, флюорит и апатит. Но наиболее перспективен апатит, так как этот минерал широко распространен в земной коре, а его комплексная переработка позволяет получать не только фтор и фосфаты, но и целую гамму цветных и редких металлов.

Натрий составляет 2,64 % массы земной коры, входит в состав многих природных соединений, из которых очень широко распространены алюмосиликаты и хлориды и значительно менее — сульфаты, карбонаты, нитраты. Этот металл был открыт английским ученым Г. Дэви в 1807 г.

В 60-е годы нашего века примерно четверть мировой добычи поваренной соли шла на удовлетворение бытовых нужд, а три четверти — на нужды химической промышленности. В 1961 г. в мире было добыто 88,97 Мт, в 1968 г. — свыше 90 Мт, а в 1974 г. — 130 Мт соли. В 16 странах добыча поваренной соли превышает 1 Мт в год, причем СССР занимает второе место в мире (24 Мт), уступая в этом отношении лишь США (37,4 Мт).

Поваренная соль в больших количествах расходуется на производство кальцинированной и каустической соды. В нашей стране в 1984 г. сода производилась в количестве 5116 кт, а едкий натр — 2971 кт. Мировое производство едкого натра составляло: 1965 г. — 15 Мт, 1972 г. — 25 Мт, 1977 г. — 28 Мт, а кальцинированной соды — 23 Мт в 1972 г. и 26 Мт в 1977 г. В достаточно больших количествах получали и металлический натрий: 1913 г. — 6 кт, 1940 г. — 50 кт, 1952 г. — 140 кт, 1960 г. — 200 кт, 1966 г. — 180 кт.

О запасах каменной соли беспокоиться не приходится, так как только озеро Баскунчак, поставляющее 40 % ее общесоюзной добычи, содержит так много этой соли, что ее хватит для всего населения земного шара на полторы тысячи лет.

Алюминий — самый распространенный в земной коре металл, на долю которого приходится 8,8 % ее массы, входит в со-

став свыше двухсот минералов, подавляющее большинство которых представляют собой оксиды, гидроксиды или алюмосиликаты натрия, калия и кальция. Индивидуально как элемент алюминий был выделен лишь в 1825 г. датским физиком Х. Эрстедом, а в сколько-нибудь заметных количествах этот металл получили только в середине прошлого века (с 1855 по 1885 г. по методу Девиля было получено всего лишь около 50 т алюминия, причем 1 кг его в то время стоил 1200 золотых рублей).

Ежегодная мировая добыча 1 Мт была достигнута в 1941 г. В 1950 г. этот порог удалось перешагнуть, и к концу десятилетия добыча достигла 3,2 Мт. Особенно стремительно производство алюминия увеличивалось с 1960 (3,7 Мт) по 1969 г. (6 Мт). Этот темп удерживается и в 70-е годы. За семьдесят с лишним лет (с 1900 по 1972 г.) во всем мире произведено около 108—110 Мт, т. е. по масштабам производство алюминия уступает лишь выплавке чугуна и стали. Среди капиталистических стран лидером по производству алюминия являются США, где в 1960 г. было произведено 1,5 Мт, а в 1975 г.— 5 Мт (в Японии — 1,25 Мт). Здесь около 25 % потребляемого алюминия расходуется на строительство (на сооружение отдельного небоскреба уходит не менее 100 т алюминия), 23,5 % — потребляет транспорт (от $\frac{2}{3}$ до $\frac{3}{4}$ веса самолета составляет алюминий), 13,6 % — электротехника, 12 % идет на изготовление потребительских товаров, 9,5 % расходуется на упаковочные материалы и 7,7 % — на изготовление машин и различного рода оборудования.

В дореволюционной России алюминий не производился. В 30-е годы первый завод по производству алюминия был построен на базе Волховской гидроэлектростанции, второй — на базе Днепровской, затем была создана алюминиевая промышленность на Северном Урале, а в послевоенное время заводы по производству алюминия были построены в Сибири (Новокузнецкий, Иркутский, Братский, Красноярский, Саянский) и других регионах нашей страны (Канакерский, Таджикский, Карельский, Кировабадский). Успешно развивается производство алюминия и в социалисти-

ческих странах, в том числе в Венгрии, Румынии, Югославии, Польше и Чехословакии.

Кремний широко распространен в земной коре и составляет 27,6 % ее массы. Главнейшими природными соединениями кремния являются силикаты и алюмосиликаты щелочных и щелочноземельных металлов. Около восьмисот минералов, образуемых кремнием, оказываются самыми распространенными и главнейшими горными породами, составляющими земную кору.

Кремний — ближайший аналог углерода — был получен как индивидуальный элемент французскими химиками Ж. Гей-Люссаком и Л. Тенаром в 1811 г., но они не выяснили, что представляет собой приготовленное ими вещество. Элементарная природа кремния была установлена в 1825 г. шведским химиком Й. Берцелиусом.

Объем потребления кремния в составе соединений, так же как кальция, подсчитать нельзя, так как практически все строительные материалы содержат те или иные силикаты. В самом деле, песок и глина применяются для изготовления как стекла и фарфора, так и грубой керамики, например кирпича.

Еще лет двести назад в проемах окон стекло заменял слоистый силикат — слюда, известный под названием мусковита, т. е. «московское стекло» или «минерал из Московии». Искусственное оконное стекло содержит более 75 % диоксида кремния. Во всем мире ежегодно вырабатывается свыше 900 км² листового стекла, около шести миллиардов бутылок, более миллиарда лампочек и свыше триллиона метров стеклянных труб.

В последнее полувековье нашел разнообразное применение и элементарный кремний, который получают в количестве около 700 кг в год во всем мире. Этот элемент широко используется в металлургической промышленности в качестве восстановителя, легирующего материала (повышает коррозионную стойкость, твердость), а также в качестве полупроводников, для чего необходим сверхчистый кремний. Из кремния высокой чистоты делают фотоэлементы, выпрямители и транзисторы. Элементарный кремний и сплавы кремния с алюминием в нашей стране впервые стали по-

лучать в 30-е годы на Днепровском алюминиевом заводе.

Фосфор составляет 0,093 % массы земной коры, где встречается в виде фосфатов кальция (фосфорита, апатита), лантаноидов (монацита), иттрия (ксенотима), железа (вивианита) или в составе смешанных фосфатов и галогенидов свинца, лития и алюминия. Фосфор является необходимой составной частью белков животных (костная, мозговая и нервная ткани) и растительных организмов и был открыт при упаривании физиологической жидкости немецким алхимиком Х. Брандтом в 1669 г.

Промышленная добыча фосфоритов в Европе начата в середине прошлого века, а в России с 1885 г., причем в 1917 г. она составила 18—25 кт. Добыча фосфоритов в капиталистических странах непрерывно увеличивается: 1900 г.— 4,63 Мт, 1938 г.— 10,3 Мт, 1950 г.— 20 Мт, 1960 г.— 33,5 Мт, 1970 г.— 65 Мт, 1980 г.— 106 Мт.

В 1913 г. в России было произведено 67 кт суперфосфата из импортных фосфоритов и около 8 кт фосфоритной муки из местных фосфоритов. В 20-е годы открыто месторождение апатита на Кольском полуострове, на базе которого уже в 1931 г. была принята в эксплуатацию первая очередь обогатительной фабрики. В результате этого в 1938 г. промышленность страны заняла по выпуску суперфосфата первое место в Европе и второе в мире.

В 1936 г. было открыто богатое месторождение фосфоритов в Каратау (общие запасы около 1,5 Гт). В СССР производство фосфорных удобрений быстро увеличивается: 256 кт в 1940 г., 5872 кт в 1984 г. Фосфорные удобрения, которые до сих пор в Сибирь ввозились, в скором времени будут производиться из местного сырья (Бурятия, Красноярский край, Якутия).

Элементарный фосфор (красный) используется для производства спичек, в военном деле в качестве дымообразующего и зажигательного вещества, в металлургической промышленности (производство художественных бронз), а некоторые соединения фосфора — в медицине.

Сера составляет 0,05 % массы земной

коры, где встречается в самородном состоянии, в виде сульфидов и сульфатов. Сера содержится в природных водах, газах, нефтях, углях, сланцах, в белках животных и растительных организмов.

С этим веществом человек познакомился несколько тысяч лет назад, когда с помощью горячей серы из жилища изгонялись «злые духи». Затем сера понадобилась для приготовления лекарств, несколько позже — для изготовления черного пороха, спичек и серной кислоты. Разнообразное применение сера находит в сельском хозяйстве, резиновой промышленности, при производстве красителей, светящихся составов, а потому мировая добыча серы стремительно растет: 1913 г.— 0,833 Мт, 1950 г.— 4,97 Мт, 1962 г.— 20,3 Мт, 1970 г.— 31,0 Мт, 1985 г.— 70 Мт.

В настоящее время лидером по производству серы в капиталистическом мире являются США (50 % мировой добычи), на втором месте стоит Мексика (12,7 %), на третьем — Англия (около 6 %), затем следует Япония (около 2 %), Италия (1,5 %). Интересно отметить, что если до 1900 г. во всем мире серы было добыто около 400 Мт, то за первые 80 лет текущего века ее добыто около 1,3 Гт, т. е. в три раза больше.

В царской России серы добывалось очень мало, а сейчас ее получают на многих горно-химических предприятиях. Вследствие важного и разнообразного применения серной кислоты ее производство непрерывно увеличивается: 1913 г.— 145 кт, 1940 г.— 1587 кт, 1960 г.— 5398 кт, 1980 г.— 30 Мт, 1985 г.— 26 Мт. То же самое наблюдается и в капиталистических странах: 1963 г.— 45,6 Мт, 1972 г.— 94 Мт, 1977 г.— 113 Мт. По производству серной кислоты наша страна занимает первое место в Европе и второе в мире (после США).

Хлор, составляющий 0,017 % массы земной коры, образует около 70 собственных минералов, которые представляют собой главным образом хлориды легких металлов (натрия, калия, магния, кальция). Заметим, что 70—75 % хлора сосредоточено в океанической воде, где его концентрация достигает 2,5 %.

Открыт хлор шведским ученым К. Шееле в 1774 г. и в начале прошлого века стал использоваться для отбеливания хлопча-

тобумажных тканей. Несколько позже хлор и хлорную известь стали применять в качестве дезинфицирующих веществ.

В годы первой мировой войны сам по себе хлор служил боевым отравляющим средством, и другие отравляющие вещества почти всегда в своем составе содержали хлор.

Мировая добыча хлора (без СССР) составляла: 1945 г.— 2,9 Мт, 1960 г.— 8,4 Мт, 1970 г.— 20,0 Мт, 1977 г.— 25,2 Мт, 1988 г.— 40,0 Мт. Среди капиталистических стран главными производителями хлора являются США, Япония, ФРГ, Англия, Франция, Италия, Канада. Основная масса хлора идет на производство хлорорганических соединений (около 60 %), значительно меньше — неорганических соединений (8—30 %) в целлюлозно-бумажную промышленность, на санитарные нужды и очистку воды, получение металлов хлорированием.

В России производство хлора в промышленном масштабе было организовано в 1880 г. на Бондюжском заводе (ныне Татарская АССР). В 1917 г. получили около 12 кт хлора, а в 60-е годы его было произведено около 1 Мт. Сейчас производство хлора продолжает увеличиваться за счет строительства новых заводов в Сибири.

Калий — широко распространенный элемент земной коры, где содержится 2,5 % этого металла, и встречается только в виде соединений — галогенидов и солей кислородсодержащих кислот. В противоположность натрию в морской воде калий содержится в малом количестве (0,38 %), почвой легко сорбируется, а потому и трудно вымывается водой. Радиоактивный изотоп калия (период полураспада — более миллиарда лет) играет существенную роль в биосфере, в частности, обеспечивая большую устойчивость растений к низким температурам. В чистом виде калий был получен электролизом расплава его гидроксида в 1807 г. английским ученым Г. Дэви.

Соединения калия используются главным образом в качестве удобрений. В до-революционной России месторождения калийных солей не были известны, и калий вносился в почву в виде расти-

тельной золы в очень небольших количествах. В советское время месторождения калия были открыты на Северном Урале, в Белоруссии и Туркмении (60-е годы), а в последние годы и в Сибири.

По запасам калийных солей наша страна занимает первое место в мире (у нас сосредоточено около 90 % мировых запасов), и этих запасов хватит на многие сотни лет, хотя добыча калийных удобрений непрерывно увеличивается: 1940 г.— 532 кт, 1950 г.— 1000 кт, 1960 г.— 2606 кт, 1972 г.— 11 556 кт, 1975 г.— 19 097 кт, 1980 г.— 21 700 кт.

В капиталистических странах добыча калийных удобрений составляла: 1913 г.— 7,0 Мт, 1940 г.— 16 Мт, 1950 г.— 15,5 Мт, 1960 г.— 36,8 Мт, 1964 г.— 43 Мт. Все калийные месторождения сосредоточены в Северном полушарии, тогда как в Южной Америке и Австралии они пока неизвестны. По добыче калийных удобрений среди капиталистических стран лидерами являются США, ФРГ, Франция и Канада.

Кальций — один из самых распространенных элементов земной коры, составляющий 2,96 % от ее массы. Этот металл входит в состав трехсот различных минералов, главным образом в виде солей кислородсодержащих кислот и реже в составе галогенидов. Кальций содержится в природных водах, физиологических жидкостях и тканях животных и растительных организмов. Несмотря на широкую распространенность, кальций выделен в чистом виде лишь в 1808 г. Г. Дэви.

Соединения кальция, в основном карбонаты (мрамор, известняк), используются при получении цемента, стекла, строительной извести, шифера, карбида кальция, идут на переработку и выплавку стали. Очень широко применяются другие соединения: сульфат (гипс, алебастр) — в строительстве; силикат (асбест) — в производстве электро-, тепло-, звукоизоляционных материалов, фильтров, красок; фторид (флюорит) — в керамической, металлургической, химической промышленности; фосфат кальция (апатит) — в производстве фосфорных удобрений и многочисленных соединений фосфора.

Дать точные цифры добычи соединений кальция практически нельзя, но чтобы показать, как стремительно увеличивается их потребление, приведем данные по производству цемента в нашей стране, которая по этому показателю в 60-е годы заняла первое место в мире: 1940 г.— 5,7 Мт, 1950 г.— 10,19 Мт, 1960 г.— 45,5 Мт, 1970 г.— 95,2 Мт, 1980 г.— 125 Мт, 1984 г.— 130 Мт. Для сравнения укажем, что мировое производство цемента составляло: 1955 г.— 166 Мт, 1970 г.— 555 Мт, 1978 г.— 803 Мт. Металлический кальций получается в небольших количествах (сотни тонн в год) и используется в качестве восстановителя при получении некоторых металлов (ванадия, циркония, тория, урана), поглотителя газов и для очистки стали, меди и никеля от серы, фосфора и избыточного углерода.

Хром достаточно широко распространен в земной коре, где содержится 0,0083 % этого металла, образует около тридцати минералов. Среди них главным исходным сырьем для получения металла, феррохрома и соединений хрома является хромит железа.

Хром был открыт в 1797 г. французским химиком Л. Вокленом, но достаточно чистый металлический хром приготовлен лишь в 30-е годы нашего века. В начале прошлого столетия соли хрома использовались в небольших количествах лишь в фарфоровой и текстильной промышленности в качестве красок. Потребление хрома значительно увеличилось со второй четверти текущего столетия, когда определились главнейшие области его использования: производство легированных сталей (нержавеющих кислотоупорных и жаропрочных), сплавов с никелем, медью и другими металлами. Хромистый железняк служит для изготовления огнеупорного кирпича, соли хрома — для дубления кож, в качестве красителей, окислителей.

Столь разнообразное применение хрома и его соединений обусловило рост мировой добычи хромистого железняка, которая составила: 1950 г.— 1,7 Мт, 1955 г.— 2,59 Мт, 1960 г.— 3,09 Мт, 1969 г.— 3,1 Мт.

В капиталистическом мире главными производителями хромита являются: Южная Родезия, Филиппины, Турция,

на долю которых приходится более 88 % мировой добычи, тогда как США за счет собственной добычи удовлетворяют свою потребность лишь на 10 %.

У нас основные месторождения хромита сосредоточены на Урале и в Казахстане. Перед первой мировой войной Россия занимала третье место в мире по добыче хромита. За годы Советской власти были построены такие гиганты, как Челябинский ферросплавный завод, аналогичные заводы в Запорожье и Зестафони, а в годы Великой Отечественной войны был сооружен Актюбинский завод по производству феррохрома. Сейчас по добыче хромовой руды наша страна занимает первое место в мире.

Марганец составляет 0,1 % массы земной коры. Встречается этот металл исключительно в виде кислородсодержащих соединений (оксидов, карбонатов, силикатов), образуя в общей сложности более полутора ста минералов. Диоксид марганца (пиролюзит) с глубокой древности использовался для обесцвечивания стекла, а как самостоятельный элемент марганец стал известен в 1774 г., когда шведский химик К. Шееле выделил его бледно-розовый хлорид, действуя на пиролюзит соляной кислотой (его соотечественник Ю. Ган получил металлический марганец).

По плотности и температуре плавления марганец близок к железу, но вследствие хрупкости применяется в качестве не самостоятельного конструкционного материала, а легирующего компонента тяжелых цветных и легких металлов. Марганцевые стали отличаются твердостью, а потому потребляются для производства рельсов, сейфов, наковален, дробильных аппаратов. Марганец входит в состав знаменитого дюралюминия — одного из важнейших легких сплавов. Природное соединение марганца — пиролюзит — средство для обесцвечивания стекла, составная часть гальванических элементов, катализатор многих химических реакций, составная часть эмалей и глазурей, а всем известный перманганат калия — универсальный дезинфектор и окислитель.

Вследствие того что производство сталей из года в год увеличивается, мировая добыча марганцевых руд также

непрерывно растет: 1900 г.— 0,5 Мт, 1920 г.— 1,6 Мт, 1940 г.— 2,9 Мт, 1950 г.— 3,5 Мт, 1960 г.— 6,4 Мт, 1970 г.— 11,7 Мт, 1979 г.— 12,4 Мт.

В настоящее время марганцевые руды добываются в 45 странах мира, но главнейшими производителями их в капиталистическом мире являются: ЮАР, Индия, Бразилия, Австралия, на долю которых приходится около 72% мировой добычи. США, Франция, ФРГ и Япония — главнейшие потребители и импортеры.

В России добыча марганцевых руд началась еще два века назад на Урале. В 1854 г. было открыто, а в 1879 г. начало эксплуатироваться Чиатурское месторождение марганцевых руд в Грузии, а с 1886 г.— Никопольское на Украине. В 1913 г. в России было добыто 1245,3 кт марганцевых руд, в 1930 г.— 1581,2 кт, в 1965 г.— 7,8 Мт, т. е. почти столько же, сколько во всех капиталистических странах.

Железо известно человечеству с глубокой древности. Как один из самых распространенных элементов, этот металл составляет 4,65 % массы земной коры, а по выплавке стоит на первом месте среди всех металлов (94—96 %).

Производство чугуна и стали — один из важнейших показателей могущества государства, а потому непрерывно увеличивается как во всем мире, так и в отдельных странах. В 1980 г. стали было произведено: во всем мире — 700 Мт, в СССР — 148 Мт, в США — 100,8 Мт.

Экономисты подсчитали, что за время с 1860 по 1920 г. во всем мире было получено 1860 Мт чугуна. За все время своего существования человек выплавил не менее 20 Гт железа, в наличии же сейчас имеется не более 6 Гт. Это значит, что 14 Гт железа уничтожено коррозией, рассеяно по всему свету и безвозвратно утрачено для человечества (чему в большей мере способствовали войны).

В 1928 г. наша страна производила 4,3 Мт стали (в 13 раз меньше США), в 1967 г. вышла на уровень производства более 100 Мт в год и заняла второе место в мире (после США). Теперь по производству стали мы занимаем первое место в мире. У нас есть

исключительно богатые месторождения железных руд. Так, согласно прогнозам, в недрах Казахстана находится свыше 30 Гт руды. На территории Курской, Белгородской, Орловской, Ростовской, Калужской, Сумской областей найдены богатейшие месторождения Курской магнитной аномалии, разведанные запасы которой оцениваются в половину разведанных запасов всего земного шара.

В 60-е годы было открыто новое месторождение железных руд близ Кременчуга (средний Днепр). Что же касается производства стали в других странах мира, то свыше 100 Мт в год выплавляют только с СССР, США и Японии, 12 государств (ФРГ, Франция, Италия, Бельгия, Великобритания, Польша, Чехословакия, Канада, Испания, Румыния, Бразилия, Китай) получают стали свыше 10 Мт.

Медь сравнительно мало распространена в земной коре, где ее содержится 0,0047 %, но встречается более чем в полтора раза в минералах, способна концентрироваться, легко выплавляться из руд и благодаря этому стала известна человечеству с глубокой древности. В природе медь встречается в самородном состоянии, в составе сульфидов и кислородсодержащих соединений. Самый крупный самородок меди весом 420 т был найден на берегу Верхнего озера (Северная Америка). В 1957 г. три крупных самородка были найдены в Кентских горах (Карагандинская область). В 1960 г. самородок весом в 7 т был обнаружен на горе Кайбын (Кемеровская область), а в 1977 г. самородок меди весом около 200 кг нашли вблизи Онежского озера.

Мировое производство меди (без СССР) составляло: 1800 г.— 0,02 Мт, 1900 г.— 0,50 Мт, 1940 г.— 2,33 Мт, 1960 г.— 3,60 Мт, 1970 г.— 5,38 Мт, 1975 г.— 8,9 Мт, 1981 г.— 10 Мт. Лидерами по добыче меди являются США, Япония, Замбия и Чили, на долю которых в общей сложности приходится более 64 % мировой добычи.

В 1913 г. Россия выплавляла около 33 кт, что составляло 3,3 % мировой добычи. В 1931 г. был построен Красноярский медеплавильный завод, в 1938 г. выдал первую медь Балхаш-

ский горно-металлургический комбинат, в 1940 г.— Пышминский медеэлектролитный завод, а в 1942 г. был сооружен Норильский горно-металлургический комбинат.

Успешно развивается медеплавильная промышленность и в социалистических государствах: Польше (1979 г.— 400 кт), Югославии (1978 г.— 180 кт), Болгарии, Монголии.

Главным потребителем меди является электропромышленность (30 %), строительство (около 20 %), машиностроение (20 %), транспорт (12 %), легкая промышленность и сельское хозяйство (18 %).

Цинк стал известным в средние века. Этот металл распространен сравнительно мало и составляет 0,0083 % земной коры. Цинк входит в состав шестидесяти различных минералов, образуя главным образом сульфидные соединения и значительно реже карбонаты и силикаты. Цинк используется в качестве легирующего компонента в сплавах меди (латуни, бронзе), алюминия, магния и никеля.

Если исходить из практики США, на долю которых приходится примерно одна пятая часть добываемого цинка, то свыше 47 % идет на производство сплавов, около 30 % — на цинкование железа, 12 % — на производство оксида цинка (для лакокрасочной и резиновой промышленности) и около 9 % — на прокатку цинковых листов (электроды), изготовление порошка (производство серебра и золота) и прочие нужды.

За все время существования чело-вечества цинка получено около 100 Мт, в отдельные же годы мировая добыча цинка (без СССР) составляла: 1800 г.— 1 кт, 1900 г.— 480 кт, 1940 г.— 1800 кт, 1960 г.— 2434 кт, 1972 г.— 4107 кт, 1981 г.— 5551 кт. Лидерами по производству этого металла среди капиталистических стран являются США и Япония, на долю которых приходится почти 40 % мировой добычи.

В России в 1913 г. цинка было выплавлено около 11 кт, (около 1 % мировой добычи). В дальнейшем цинковая промышленность развивалась весьма успешно. В 1930 г. вошли в строй действующих Беловский цинковый завод в Кузбассе, Константиновский цинковый

завод на Украине, в 1935 г.— Челябинский электролитный цинковый завод, а несколько позже — Усть-Каменогорский свинцово-цинковый комбинат. Успешно развивается цинковая промышленность в Польше, где этого металла еще в 1955 г. производилось 156,2 кт.

Барий достаточно широко распространен в земной коре, где его содержания около 0,065 %. В виде амальгамы этот металл был получен в 1808 г. Г. Дэви, хотя «баритовая земля» уже давно была известна химикам.

Барием мало интересуются металлурги и машиностроители — главные производители и потребители металлов, не ищут его специально и геологи. Наибольший интерес к барию проявляют химики, фармацевты, пиротехники, физики и работники целлюлозно-бумажной и резиновой промышленности. Мировая добыча его основных минералов — барита и витерита — в последние годы составляла: 1938 г.— 1000 кт, 1960 г.— 2420 кт, 1980 г.— 7300 кт.

Барий относится к щелочноземельным металлам и по свойствам чрезвычайно близок к стронцию и кальцию, легко взаимодействует с водой при обычных условиях, а потому в качестве конструкционного материала не используется. Ранее пероксид бария служил для лабораторного получения кислорода, сейчас же пероксид бария применяется для беления различных материалов, для получения пероксида водорода и как составная часть запальных смесей для алюмотермии. Барит (сульфат бария) используется при бурении глубоких скважин, как наполнитель в бумажной и резиновой промышленности, в медицине для рентгеноскопии желудка, как составная часть белой минеральной краски, а витерит (карбонат бария) — как составная часть смеси, необходимой для цементации стали. Хлорид бария применяется для борьбы с вредителями сахарной свеклы, нитрат бария — в пиротехнике, гидроксид бария является реактивом для обнаружения диоксида углерода, а металлический барий входит в состав подшипниковых сплавов. С 40-х годов титанат бария используется как сегнетоэлектрик.

К главным производителям барита и витерита относятся: США (505 кт, в год),

ФРГ (426 кт), Мексика (318 кт), Канада (209 кт), СССР (200 кт). В нашей стране месторождения барита имеются на Урале, в Закавказье, на Алтае, в Средней Азии.

Свинец известен с глубокой древности. Как один из последних стабильных элементов в периодической системе этот металл является конечным продуктом распада радиоактивных рядов урана и тория, способен концентрироваться в земной коре, т. е. образовывать месторождения.

Свинец одинаково часто встречается в составе сульфидных сульфидомышьяковистых и кислородных соединений и образует в общей сложности более 130 собственных минералов. Этот металл в земной коре содержится в количестве 0,0016 % и распространен гораздо больше, чем его ближайшие соседи — золото, ртуть, висмут. Свинец мало активен химически, имеет низкую температуру плавления, малую твердость, а потому легко выделяется из руд и легко обрабатывается. Все это позволило человеку очень рано познакомиться со свинцом и использовать его уже в глубокой древности для многочисленных практических целей: для извлечения золота и серебра из руд, изготовления водопроводных труб, получения белил, скрепления каменных плит, покрытия крыш замков и дворцов, выплавки ядер для метания.

Сейчас основная масса свинца (свыше 40 %) расходуется на изготовление свинцовых аккумуляторов, около 20 % — на производство тетраэтилсвинца, все еще широко используемого как антидетонационная присадка к бензину, около 10 % — на изготовление пигментов, примерно в равных количествах — на припои, кабельные оболочки и дробь.

В начале текущего века мировая добыча свинца составляла свыше 1 Мт в год, к 1960 г. — 2 Мт, к 1972 г. — 3 Мт, а в 1981 г. — 4,1 Мт.

В России добыча свинца началась еще два века назад в Забайкалье. Выплавка свинца в первой половине прошлого века достигла 100 т в год, а в 1913 г. составила 1518 т. Теперь вся потребность нашей страны в свинце удовлетворяется за счет его производства на таких заводах, как Чимкентский, Зы-

ряновский, Усть-Каменогорский, Ачисайский.

Титан был открыт английским пастором У. Грегором в 1790 г., но известным этот элемент стал после того, как его открытие повторил немецкий химик М. Клапрот в 1795 г. В более или менее чистом виде металл выделен лишь в начале нынешнего века, а первые его тонны были получены только в 40-е годы. Титан почти в два раза легче железа, имеет высокую температуру плавления, в два раза прочнее железа и в шесть раз прочнее алюминия. Этот металл довольно широко распространен в земной коре, где его содержится 0,57 %, устойчив на воздухе и в морской воде, но добывается в небольших количествах.

Теперь титан производится в СССР, США, Англии, Японии и ФРГ. Опытное производство титана налажено во Франции, Италии, Норвегии и Канаде. Но в капиталистических странах производство титана растет сравнительно медленно: 1950 г. — 0,68 кт, 1960 г. — 8,3 кт, 1970 г. — 23,3 кт, 1975 г. — 23 кт, 1981 г. — 54 кт.

Наш первый титан был получен в 1954 г. на Подольском химико-металлургическом заводе, в 1957 г. вступил в строй Днепровский, в 1959 г. — Березняковский, а в 1965 г. — Усть-Каменогорский титано-магниевого комбинаты. Сейчас по производству титана наша страна на одном из первых мест в мире. Титан и его сплавы являются незаменимыми материалами не только для сверхзвуковых самолетов и космической техники, но и для химического производства и энергетики, судостроения, электроники, пищевой промышленности. Огромное значение имеет не только металлический титан и его сплавы, но и диоксид титана, который используется в качестве титановых белил, при производстве резины, бумаги, глазури, эмали, в дорожном строительстве, в кожевенной и текстильной промышленности. У нас двуокись титана производится на Крымском заводе, признанном крупнейшим в Европе.

Литий — самый легкий из всех известных металлов — мало распространен в земной коре, составляя 0,0065 % ее массы. Этот щелочной металл обладает максимальной теплоемкостью. Литий при обычных условиях взаимодействует с водой, легко режется ножом. Открыт литий шведским химиком А. Арфведсоном в 1817 г.

В качестве самостоятельного конструкционного материала литий использоваться не может, но в первой четверти текущего столетия стал применяться в стекольной и керамической промышленности. В металлургической промышленности литий служит для извлечения растворенных газов (азота, кислорода, водорода) из сталей, а также как составная часть легких сплавов, включающих магний и алюминий и некоторые тяжелые металлы. Соединения лития широко применяются для кондиционирования воздуха, в составе электролитов, флюсов, припоев, в качестве катализатора при синтезе многих химических соединений, в частности, гидрид лития идет на получение водорода. Изотопы лития могут быть использованы в качестве теплоносителя и для производства трития, необходимого при получении термоядерной энергии, а фторид лития — как растворитель соединений урана и тория.

Годовая добыча лития в капиталистических странах колеблется от 100 до 300 кг концентрата, содержащего около 5 % оксида лития. Если исходить из практики США, то в 70-х годах потребление лития по отдельным отраслям распределялось следующим образом: стекло и керамика — 26,5 %, смазки — 11, кондиционеры — 5,5, электролиз алюминия — 37,5, сварка, пайка, щелочные аккумуляторы, металлургия, фармацевтика — 19,4 %.

Магний в природе встречается в составе более ста минералов и составляет 2,1 % массы земной коры. Главнейшие минералы представляют собой хлориды, сульфаты, карбонаты, алюминаты, алюмосиликаты, силикаты. Магний входит в состав хлорофилла растений. В свободном состоянии этот металл был получен в 1808 г. английским ученым Г. Дэви,

но в сколько-нибудь значительных количествах его начали получать лишь в начале текущего века.

Добыча магния в промышленно развитых капиталистических странах составляла: 1940 г. — 35 кт, 1950 г. — 19,5 кт, 1960 г. — 67 кт, 1971 г. — 179 кт, 1981 г. — 290 кт. В чистом виде в качестве самостоятельного конструкционного материала этот элемент не используется, но употребляется как восстановитель при получении титана и некоторых других металлов, как добавка к сталям и сплавам цветных металлов (для удаления из них кислорода и серы), в тонком органическом синтезе и как составная часть зажигательных и осветительных ракет. В машиностроении магний используется в виде сплавов с алюминием и цинком, цинком и цирконием или марганцем. При разработке конструкций сверхзвуковых самолетов, ракет и космических кораблей все большее значение приобретают литиево-магниевые сплавы, а сам магний может служить высококалорийным топливом.

До первой мировой войны все производство магния было сосредоточено только в Германии. Теперь магний получают в США, Норвегии, на долю которых приходится почти 90 % мировой добычи, меньшие количества вырабатываются в Канаде, Италии, Франции и Японии.

Первые успешные опыты по получению магния в нашей стране проводились в 1916—1917 гг., а в промышленности его начали получать в 1936 г.

Олово в земной коре встречается в небольших количествах — 0,008 %. Этот металл содержится в минералах в виде диоксида (касситерита), алюмината и силиката, а также в составе сульфидных соединений. Очень редко олово можно встретить в самородном состоянии.

Олово известно с глубокой древности, легко выплавляется из руд и обрабатывается, в расплавленном состоянии смачивает другие металлы и образует с ними сплавы. На этих свойствах и основано использование олова для лужения медной посуды, изготовления белой жести, для пайки и производства бронзы, баббита и типографского сплава. Диоксид олова применяется как составная часть жаростойких эмалей, а соли аммония и натрия используются в качестве

протравы при крашении и для утяжеления шелка.

Мировое производство олова на протяжении последнего полувека удерживается на уровне 200 кт в год: 1929 г.— 195 кт, 1940 г.— 246 кт, 1950 г.— 180 кт, 1960 г.— 156 кт, 1971 г.— 186 кт, 1981 г.— 243 кт. Лидером по производству олова в капиталистическом мире является Малайзия, на долю которой приходится почти 50 % мировой добычи.

В прошлом веке русская оловянная промышленность существовала, но большая часть потребностей в олове удовлетворялась за счет импорта. В дальнейшем было обнаружено много богатых месторождений оловянного камня, и теперь это одна из ведущих отраслей цветной металлургической промышленности.

Цирконий, открытый в 1789 г. немецким химиком М. Клапротом, мало распространен в земной коре, составляя 0,02 % ее массы. Этот металл образует около сорока собственных исключительно кислородсодержащих минералов, главным образом силикатов, в состав которых, кроме циркония, входят натрий или кальций. Чаще других встречаются диоксид циркония (бадделейт) и силикат циркония (циркон).

Цирконий имеет высокую температуру плавления, сравнительно небольшую плотность, характеризуется высокой коррозионной стойкостью, не растворяется в соляной и азотной кислотах и в щелочах. Цирконий почти не захватывает медленные (тепловые) нейтроны и на этом основании используется в атомных реакторах. Этот металл с большим эффектом применяется для легирования сталей, цветных и легких металлов. Широкое применение находит и диоксид циркония, особенно в производстве огнеупорных материалов, а также в стекльной и керамической промышленности. Специалисты полагают, что цирконий в настоящее время применяется не менее чем в полутора раза областях. В США основная масса соединений циркония (свыше 70 %) направляется в керамическую промышленность, около 11 % — на получение чистого металла и его сплавов, 8—9 % — в химическую промышленность. В промышленности

цирконий появился лишь в первой четверти текущего века, а в 70-е годы было использовано около 500 кт циркониевых концентратов.

Главным производителем циркониевых концентратов среди капиталистических и развивающихся стран является Австралия (около 70 %) и США (около 20 %), и небольшие количества этого сырья добывают ЮАР, Индия, Малайзия и Бразилия.

Никель мало распространен в земной коре и составляет всего 0,008 % ее массы. Впервые в металлическом виде никель был получен в 1751 г. шведским минералогом А. Кроншtedтом. Этот металл встречается главным образом в составе сульфидных и арсенидных соединений, реже в виде гидроксисиликатов, образуя в общей сложности более сорока минералов. Никель используется для легирования сталей и входит в состав нескольких сот сплавов, которые можно разделить на три группы: жаропрочные, магнитные и специальные.

В сколько-нибудь значительных количествах никель стали получать в конце прошлого века, и с тех пор его производство быстро увеличивается: 1900 г.— 7,5 кт, 1940 г.— 160 кт, 1950 г.— 140 кт, 1960 г.— 266 кт, 1971 г.— 477,4 кт, 1981 г.— 462 кт. Производство никеля будет непременно возрастать и, как полагают зарубежные специалисты, в ближайшие годы приблизится к 1 Мт в год.

Царская Россия, несмотря на наличие богатых месторождений, собственной никелевой промышленности не имела и ввозила этот металл из-за границы. Первый в нашей стране завод по производству никеля (Уфалейский) начал работать в 1933 г. В 1936 г. был построен Ржевский, в 1938 г.— Южно-Уральский комбинат, в 1939 г.— завод «Североникель» (на Кольском полуострове), в 1942 г.— Норильский горно-металлургический комбинат (в Красноярском крае), в 1946 г.— завод «Печганикель», а в 1972 г.— Побужский никелевый завод.

Богатейшие месторождения никеля имеются на Кубе, которая располагает более 40 % мировых запасов никелевых руд. Сейчас здесь производится около 30 кт никеля в год.

Бром составляет 0,00016 % массы зем-

ной коры. Этот галоген образует всего четыре собственных минерала (в основном соли серебра) и в отличие от других рассеянных элементов его основная масса сосредоточена в морской воде (0,0066 %). Из морской воды, вернее, из золы морских водорослей бром и был выделен французским препаратом А. Баларом в 1826 г. Очень часто бром в значительных количествах содержится в нефтяных водах.

Бром, который является чуть ли не единственным жидким простым веществом (при обычных условиях), на протяжении всего прошлого столетия имел весьма ограниченное применение. Позднее его соединения стали применять для получения фармацевтических препаратов, некоторых красящих веществ и фоточувствительных материалов фотопромышленности. Эти области применения не требовали большого количества брома, и его мировая добыча в первой четверти нынешнего столетия составляла 1—10 кт, в 1959 г. достигла почти 100 кт, а в настоящее время оценивается величиной в 300—330 кт в год. В России первый небольшой завод по производству брома был построен в 1917 г. на Сакском озере в Крыму, в 1921 г. был построен Красноперекопский бромный завод. В настоящее время большой завод по производству бромида железа работает в Челекене (Туркмения), где в качестве сырья используются подземные воды.

ЭЛЕМЕНТЫ — «ТЫСЯЧНИКИ»

Молибден и вольфрам. Как один из самых тяжелых и тугоплавких металлов, вольфрам интересен во многих отношениях. Этот металл очень тверд, устойчив к воздействию внешних условий и различных химических реагентов, растворяется лишь в горячей смеси плавиковой и азотной кислот.

Молибден во многом аналогичен вольфраму. Плотность молибдена почти в 2 раза меньше, ниже температура плавления, растворяется молибден в азотной и в горячей концентрированной серной кислоте.

Но эти металлы имеют и много общих черт. У них почти одинакова рас-

пространенность в земной коре, в массе которой содержится немногим более 0,0001 % каждого металла. Их получают в металлическом виде по сходной технологии и применяют в сталелитейном производстве, электронике, электротехнике, поскольку эти металлы мало отличаются друг от друга по электропроводности, пластичности и другим свойствам. Молибден и вольфрам были открыты шведским химиком К. Шееле соответственно в 1778 и 1781 г. и начали использоваться в промышленности почти одновременно в конце прошлого века. Как один, так и второй металл сходны по составу наиболее распространенных и прочных соединений — молибдатов и вольфраматов в основном кальция и железа (шеелит, вольфрамит). Как минерал известен также сульфид молибдена (молибденит).

Теперь почти 95 % этих металлов идет в металлургическую промышленность, причем свыше 90 % расходуется на производство инструментальной самозакаливающейся стали. Из сплава молибдена с танталом изготавливают лабораторную посуду, которая по своей стойкости к различным реагентам не уступает платиновой. Дисульфид молибдена применяется как смазка для трущихся металлических частей при высоких температурах, а соединения молибдена и вольфрама — в качестве защитных красок и лаков, а некоторые соединения молибдена — как микроудобрения.

Мировое производство молибдена составляло: 1940 г. — 16,6 кт, 1950 г. — 14,2 кт, 1960 г. — 34,0 кт, 1970 г. — 74 кт, 1978 г. — 89,7 кт. Что же касается вольфрама, то его производство в последние десятилетия, по сравнению с молибденом, несколько уменьшилось: 1940 г. — 38,5 кт, 1950 г. — 18,7 кт, 1960 г. — 23,1 кт, 1970 г. — 35,9 кт, 1978 г. — 39,2 кт.

Вольфрамовые концентраты сейчас добываются в более чем двадцати капиталистических странах, но половина мировой добычи приходится на шесть государств: США, Боливию, Канаду, Южную Корею, Австралию, Португалию. Еще более неравномерное распределение характерно для молибденовых концентратов, которые в основном сосредоточены в США и Канаде.

В нашей стране промышленное произ-

водство вольфрама организовано в начале нынешнего века, а производство молибдена — лишь в 1928 г. В 30-е годы вошел в число действующих предприятий Тырнаузский вольфрамово-молибденовый комбинат на Северном Кавказе, расположенный на высоте 3200 м над уровнем моря, в 1952 г.— Зангезурский медно-молибденовый комбинат в Армении, а в десятой пятилетке достиг проектной мощности Приморский горно-обогатительный комбинат в горах Сихотэ-Алиня, выпускающий обогащенный вольфрамовый концентрат.

Надо полагать, что заметного увеличения производства молибдена и вольфрама в ближайшее десятилетие ожидать нельзя по той простой причине, что молибден добывается из руд, в которых металла содержится очень небольшое количество (от 0,001 до 0,01 %) при попутном извлечении и из вкрапленных руд крупных месторождений.

Золото. Основная масса золота в земной коре встречается в самородном виде, отчего этот драгоценный металл стал известным с глубокой древности. В земной коре содержится $5 \cdot 10^{-8}$ % золота, и менее распространены, чем золото, немногим более десяти элементов, встречающихся в природе.

Как полагают некоторые специалисты, к настоящему времени во всем мире найдено не менее десяти тысяч самородков, причем только на территории Миасского района Челябинской области более двух тысяч. Кроме Урала, самородное золото было найдено в Бодайбинском районе Иркутской области, на Колыме в Магаданской области и значительно меньше на Алдане в Якутии. Большое количество золотых самородков весом в несколько десятков килограммов было найдено во второй половине прошлого века и в текущем столетии в Австралии и Бразилии.

За всю же историю человечества золота добыто около 90—100 кт. В течение древних и средних веков, т. е. на протяжении нескольких тысячелетий, золота добыто не более 20 кт, причем большая часть этого металла утрачена безвозвратно. В XVIII в. было извлечено около 1,9 кт золота, в XIX в.— 11,5 кт и в XX в.— около 60 кт. Ежегодная мировая добыча золота, исчисляющаяся

тысячью тонн, была достигнута лишь в конце 30-х годов текущего века, а до тех пор была значительно меньше и исчислялась сотнями тонн.

Сейчас значительная часть золота добывается попутно с другими металлами, вместе с которыми этот элемент встречается в земной коре (свинцом, цинком, медью, серебром, железом). В 1977 г., когда мировая добыча золота составила около 844 т, на долю отдельных стран приходилось: ЮАР — 699 т (82,8 %), Канада — 53 т (6,3 %), США — 33 т (4 %), Папуа — Новая Гвинея — 20 т (2,3 %), Родезия — 20 т (2,3 %), Австралия — 19 т (2,2 %).

В России золото начали добывать в значительных количествах еще двести с лишним лет назад на Урале. Во второй четверти прошлого века Россия была главной золотодобывающей державой мира, когда ее удельный вес в мировой добыче колебался от 24 до 40 %. Все последующие годы добыча золота в России составляла около 30—63 т в год, и доля ее участия в мировой добыче колебалась в пределах от 4 до 10 %. Всего же с 1744 по 1916 г. в России было добыто около 2752 т золота. В 1936 г. наша страна по добыче золота занимала первое место в Европе и второе в мире. В разные годы были освоены новые районы золотодобычи: Колыма (1936 г.), Алдан (1923 г.), Чукотка (1969 г.) и Узбекистан.

В отличие от других металлов золото имеет ограниченные области применения. Более половины золотых запасов составляют монетные фонды, часть идет на промышленно-художественные изделия, а остальное составляет частная тезаврация (частные золотые сокровища). Промышленное использование золота связано с развитием реактивной и ядерной техники, сверхзвуковых самолетов и составляет, несколько сот тонн в год.

Серебро, как и золото, известно с глубокой древности, в земной коре содержится в небольших количествах — $7 \cdot 10^{-6}$ %, редко встречается в самородном виде, чаще всего в виде сульфидных соединений в полиметаллических свинцово-цинковых рудах, а также совместно с медью, никелем, мышьяком, сурьмой и некоторыми другими тяжелыми металлами.

Серебро очень мягко, поэтому в чистом виде для изготовления ювелирных изделий не используется. Для этой цели применяют сплав серебра с медью, при этом содержание серебра в сплаве указывается на изделии в виде пробы (проба 875, например, указывает на то, что 875 г чистого серебра содержится в 1000 г сплава). Далее, в первой половине нашего столетия основная часть серебра шла на изготовление бытовых изделий и монет, теперь же этот металл потребляется при производстве аккумуляторов, автоклавов, вакуумных аппаратов, фотоматериалов. Соединение серебра пока еще незаменимы в аналитической химии и медицине.

Основная масса серебра добывается в Америке (Мексика, Перу, США, Канада). Мексика по добыче серебра занимает сейчас первое место в капиталистическом мире, давая в отдельные годы свыше 3 кт этого металла. Мировое производство серебра (без СССР) давно стабилизировалось и составляет около 7 кт в год. Многие считают, что запасы серебра в капиталистических странах близки к истощению и их хватит всего на два-три десятка лет.

За многие столетия люди добыли из недр земли примерно 900 кт серебра. В России серебро, как и золото, названное благородным металлом, выплавляли с давних времен, а в 1704 г. был построен первый в Сибири Нерчинский сереброплавильный завод. Позже в Забайкалье были построены и другие сереброплавильные заводы, и выплавка серебра увеличилась в этом регионе до 10 т металла в год. Два века назад месторождения серебра, меди и свинца были открыты на Алтае.

Кобальт мало распространен в земной коре и составляет 0,004 % ее массы. Металл встречается в составе сорока минералов, главными из которых являются сульфиды, арсениды и относительно редкими — карбонаты, сульфаты и арсенаты. Около 0,5 % кобальта содержится в железных метеоритах. Открыт кобальт шведским химиком Г. Брандтом в 1735 г.

Основная часть кобальта (до 75 %) идет на производство магнитных и тугоплавких сплавов, авиационных и быстрорастворимых сталей. Соединения кобальта

служат для получения эмалей, красок (синих) и катализаторов. Изотоп кобальта ^{60}Co (гамма-излучатель) применяется в медицине (вместо радия) для борьбы с раковыми заболеваниями. В сельском хозяйстве соединения кобальта вводятся в почву как микроудобрения, а кроме того, служат добавками к кормам.

Промышленное использование кобальта относится к началу текущего века и в настоящее время составляет около 25 кт в год, что не идет ни в какое сравнение с его ближайшим соседом — никелем. Лидером по производству кобальта в капиталистическом мире является Заир (Африка), на долю которого приходится более половины мирового производства. Около 18 % кобальта производят Марокко, Замбия и Канада, тогда как США — только десятые доли процента.

В прошлом веке в России кобальт не добывался, и производство кобальта было создано заново в годы первых пятилеток. Относительно недавно на базе Хову-Аксинского месторождения создан крупный комбинат «Тувакобальт».

Кадмий открыт в 1817 г. немецким ученым Ф. Штрөмейером, а его промышленная добыча началась лишь с начала текущего века. Кадмий широко используется для производства различных сплавов (подшипниковых, легкоплавких, драгоценных, полупроводниковых, электропроводящих), а также как раскислитель в литейном деле, в атомной технике как поглотитель нейтронов. Соединения кадмия применяются для изготовления различных красок, пиротехнических составов.

Основная масса кадмия, составляющая $8 \cdot 10^{-6}$ % земной коры, встречается в виде изоморфной примеси с соединениями цинка и получается исключительно попутно с цинком, поэтому на резкое увеличение его добычи рассчитывать нельзя. Мировое производство кадмия в настоящее время составляет около 12—15 кт в год. Лидерами в капиталистическом мире по добыче кадмия являются США, Япония, Бельгия, Канада, Австралия, на долю которых приходится более 80 % мирового производства. В СССР производство кадмия было организовано в 1934 г. на заводе «Электроцинк».

Ванадий достаточно широко распро-

странен в земной коре, составляя 0,015 % ее массы, но самостоятельных месторождений не образует и получается из отходов доменного производства некоторых железорудных месторождений. Ванадий был открыт лишь в 1830 г. шведским минералогом Н. Сефстремом, а в металлическом виде этот элемент удалось получить английскому химику Г. Роско только в 1869 г.

Устойчивый к внешним условиям металл не растворяется в разбавленных кислотах, но в качестве самостоятельного конструкционного материала не используется и не будет использоваться, очевидно, в будущем, так как получается в небольших количествах и весьма дорог. Тем не менее металл этот чрезвычайно важен, так как придает сталям морозостойкость, твердость, вязкость и гибкость. В нашей стране изготавливается свыше двухсот марок сталей, обогащенных ванадием. До войны 80—90 % производимого ванадия потребляла черная металлургия, сейчас же ванадий широко применяется для легирования титановых сплавов, необходимых в космической технике. Сплавы ванадия с галлием, титаном, кремнием и скандием обладают сверхпроводимостью, а соединения ванадия широко используются в качестве катализаторов, а также в стекловом и керамическом производстве.

Основным производителем ванадиевых концентратов в капиталистическом мире являются США, ЮАР и некоторые другие страны, причем производство ванадия сравнительно невелико, но непрерывно увеличивается: 1940 г.— 2,9 кт, 1950 г.— 2,7 кт, 1964 г.— 7,2 кт, 1970 г.— 14,75 кт, 1978 г.— 20 кт.

В дореволюционное время у нас ванадий не производился, и его промышленное производство было начато только в 1936 г. в цехе ферросплавов Чусовского металлургического завода. Сейчас наша страна располагает крупнейшими в мире разведанными месторождениями ванадия в составе титаномагнетитов Урала и Карелии.

Ртуть известна с глубокой древности. В земной коре ее содержится лишь $4,5 \times 10^{-6}$ %. Этот металл не только мало распространен, но и сильно рассеян (в месторождениях концентрируется лишь 0,02 % всей ртути).

При обычных условиях ртуть — единственный жидкий металл, хорошо растворяющий многие другие металлы, что приводит к образованию так называемых амальгам. Как пары ртути, так и все ее растворимые соединения сильно ядовиты. Раньше сулема (хлорид ртути) была известна как яд, амальгамирование служило для извлечения золота из руд, а в алхимических опытах ртуть символизировала одну из основных природных субстанций.

Теперь этот металл применяется в самых разнообразных областях науки и техники. Так, например, в США производство хлора и едкого натра потребляет 24 % ртути, электротехнических приборов — 26, красителей — 16, контрольно-измерительных приборов — 7, катализаторов — 3, медицина — 5, лабораторная практика — 3,6 и прочие области — 25,4 %.

Общая добыча ртути остается небольшой (из месторождений Европы и Америки за четыре последних столетия ее добыли около 800 кт), давно стабилизировалась и равна 5,5—6 кт в год. В капиталистическом мире лидерами по добыче ртути являются Испания, Италия, Мексика, на долю которых приходится более 66 % мирового производства.

На территории нашей страны еще десять веков назад ртуть добывалась на рудниках Средней Азии. В конце прошлого века добывалось в общей сложности 500—600 т ртути в год, и Россия по производству ртути занимала 3—4 место в мире. Сейчас в Донбассе в составе Никитского ртутного комбината действует несколько старых ртутных заводов и новый завод-гигант, введенный в эксплуатацию в 1968 г. В 70-х годах были открыты богатые месторождения сульфида ртути (киновари) в Кемеровской области, в Киргизии и на Алтае.

Висмут мало распространен в земной коре, составляя $2 \cdot 10^{-5}$ % ее массы, но входит в состав пятидесяти минералов (сульфиды, оксиды тяжелых металлов), изредка встречается в самородном виде, легко выделяется из соединений и в силу этого был известен еще в средние века. Висмут — тяжелый, мягкий, хрупкий и легкоплавкий металл, а поэтому в качестве конструкционного материала не используется. Больше того, присутст-

вие даже малых количеств висмута в меди и золоте — явление крайне нежелательное, так как последние становятся хрупкими и труднообрабатываемыми. Основная масса висмута идет на производство легкоплавких сплавов с температурой плавления ниже 100 °С (противопожарные материалы). В малых количествах висмут и его соединения применяются в медицине, косметике, в химической (катализаторы), стекольной и фарфоровой промышленности.

Сейчас висмут производят в 18 странах, лидируют же в добыче этого металла Австралия, Перу, Боливия, Мексика и США, на долю которых приходится около 90 % мировой добычи, составляющей около 3 кт в год. В нашей стране висмут стали получать в 1918 г. и теперь его производят на предприятиях цветной металлургии в Казахстане.

Стронций открыт в 1790 г. шотландским врачом А. Кроуфордом в минерале стронцианите (карбонате стронция). В металлическом виде этот элемент впервые получен Г. Дэви в 1808 г.

На долю стронция приходится 0,034 % массы земной коры. В природе этот щелочноземельный металл встречается почти исключительно в виде кислородсодержащих соединений (сульфатов, карбонатов, боратов и фосфатов), образуя в общей сложности около двадцати минералов.

В промышленности металл применяется с конца прошлого века в основном для извлечения сахара из патоки. В дальнейшем соединения стронция стали вводить в оптические стекла, люминофоры, глазури, эмали, применять в пиротехнике (кармино-красная окраска пламени), для очистки стали от серы и фосфора, для получения синтетических бриллиантов, материалов для цветных телевизоров. Используются соединения стронция и в качестве утяжелителя буровых растворов при проходке глубоких скважин (вместо барита). Столь разнообразное применение соединений стронция обеспечило и рост его добычи (концентраты): 1940 г. — 4,5 кт, 1950 г. — 8,7 кт, 1960 г. — 11,7 кт, 1970 г. — 60 кт, 1977 г. — 70 кт. Потребление стронция в США в 1974 г. распределялось по отдельным отраслям следующим образом: электроника —

49 %, пиротехника — 22, электротехника — 14, керамика и стекло — 4, рафинирование цинка — 4, смазки — 2, краски — 0,7 и разное — 4,3 %.

У нас месторождения стронция найдены в Архангельской области, в Поволжье, Башкирии, Крыму, Якутии, Туркмении, Таджикистане и в других районах и областях страны.

Уран — радиоактивный элемент, при отсутствии которого на Земле не было бы и таких элементов, как радий, полоний, радон, протактиний и актиний. Меньше было бы и свинца, изотопы которого являются конечным продуктом радиоактивного распада урана. Хотя изотопы урана нестабильны, этот металл не является малораспространенным элементом и на его долю приходится 0,00025 % массы земной коры. Уран открыт в 1789 г. немецким ученым М. Клапротом, но лишь значительно позже в очень небольших количествах его соединения стали использовать для окраски фарфора и стекла в желтый цвет, в фотографии и в аналитической химии как реактив для обнаружения иона цинка. В самом начале прошлого века из урановых руд начали извлекать радий.

В 30-е годы был открыт процесс деления ядер изотопа урана, сопровождающийся выделением огромных количеств энергии. Уран стал военным стратегическим сырьем, но в то же время и надеждой преодолеть надвигающийся энергетический кризис. В капиталистических странах к 1958 г. добыча урановой руды достигла 30 кт в год и на этом уровне удерживалась в течение более двух десятков лет, а в 1980 г. составила 75 кт.

Очень важно подчеркнуть, что открытие урана привело к революции не только в энергетике и в военном деле, но и в науке, благодаря чему был получен целый ряд трансурановых элементов — нептуний, плутоний, америций, кюрий, берклий, калифорний и эйнштейний.

Торий — самый распространенный и самый долгоживущий металл (период полураспада 13,9 миллиарда лет) среди радиоактивных элементов. В земной коре его содержится 0,0008 %, встречается он только в виде кислородсодержащих соединений. Открыт торий шведским химиком Й. Берцелиусом в 1828 г., но только

в конце прошлого века обнаружилась его радиоактивность.

Торий — серебристо-белый тяжелый металл с высокой температурой плавления и кипения. В качестве самостоятельного конструкционного материала металл не используется. Впервые диоксид тория стали применять для изготовления газокалильных сеток. Сейчас добавки тория служат для легирования легких сплавов в самолето- и ракетостроении и в качестве катализатора при синтезе органических соединений и крекинге нефти. Торий используется в качестве ядерного топлива, что вызвало увеличение его добычи: 1941 г. — 320 т, 1956 г. — 500 т, 1960 г. — 1200—1400 т.

Мышьяк мало распространен в земной коре и составляет только 0,0005 % ее массы, но образует более ста собственных минералов. Чаще всего мышьяк встречается в составе сульфидов, изредка в виде солей мышьяковистой кислоты и в самородном состоянии. Его соединения применяются в качестве инсектицида, для пропитки дерева, консервирования кож, в военной промышленности. В значительных количествах мышьяк используется в металлургии (сплавы меди, свинца), в стекльной (для обесцвечивания стекла), красильной и полупроводниковой промышленности, а также в медицине.

Мышьяк выделяют попутно с извлечением из руд цветных металлов, так что его общая добыча определялась в основном получением этих металлов и составляла: 1940 г. — 71 кт, 1950 г. — 47 кт, 1962 г. — 50 кт, 1971 г. — 40 кт. Швеция занимает первое место в мире по производству мышьяка (12 кт в год), на втором месте — США, на третьем — Мексика. В нашей стране имеются все возможности для получения необходимого количества мышьяка. Мышьяк — один из немногих элементов, возможности добычи которого превышают потребности в его производстве.

Сурьма в земной коре встречается в малых количествах — 0,00005 %, главным образом в составе сульфидных, реже в виде кислородных соединений и еще реже в самородном состоянии, образуя в общей сложности около восьмидесяти минералов. Этот элемент, как мышьяк, стал известным в средние ве-

ка. Менее токсичная и хрупкая сурьма растворяет почти все металлы и на этом основании входит в состав не менее двухсот сплавов. Присутствие сурьмы в сплавах делает их более твердыми. Сплав со свинцом применяется для производства пластин аккумуляторов, кабельных материалов и медицинского оборудования. Сплавы сурьмы необходимы в полиграфическом и шарикоподшипниковом производстве. Сверхчистая сурьма применяется в полупроводниковой промышленности, а соединения сурьмы — для производства эмалей, красок, спичек, пиротехнических составов, для вулканизации каучука.

Разнообразное использование сурьмы определяет ее довольно большую добычу — около 25 кт в год. Среди капиталистических стран главным производителем сурьмы являются США, где получают более 40 % ее мировой добычи, затем следуют ЮАР (около 30 %), Боливия и Мексика.

В России сурьма не производилась, и еще в начале нынешнего века это сырье ежегодно возилось из-за границы в количестве около тысячи тонн. Первые в нашей стране 150 г сурьмы были получены в 1935 г. Сейчас центром сурьмяной промышленности является Киргизия. Сурьма отечественного производства получила признание не только в нашей стране, но и за рубежом, закупается более чем сорока странами.

Йод мало распространен в земной коре, где его содержится только 0,00004 %, и еще меньше в морской воде — 0,6 мг/мл. Этот сильно рассеянный элемент месторождений не образует и встречается в виде лишь нескольких минералов (йодиды серебра или меди, йодат кальция). Эти минералы промышленного значения не имеют, поэтому йод добывается либо из морской воды, либо из нефтяных вод.

Йод открыт французским химиком-технологом Б. Куртуа в 1811 г., а уже в первой четверти прошлого века во Франции был построен первый йодный завод. До 1868 г. йод из водорослей добывался в Шотландии и Испании. Начиная с этого года йодная промышленность стала бурно развиваться в Чили на основе отходов производства селитры.

В настоящее время лидерами по про-

изводству йода являются США, Чили и Япония (не считая СССР). Добыча в этих странах непрерывно увеличивалась и составляла: 1950 г.— 1147 т, 1956 г.— 1992 т, 1962 г.— 4543 т.

В России йодная промышленность возникла в 1915 г., когда в Екатеринославе (ныне Днепропетровске) был построен опытный завод по извлечению йода из водорослей Черного моря, причем за все годы первой мировой войны здесь было получено всего 200 кг йода. В 20—30-е годы йод добывался из водорослей Белого и Японского морей. В 1925 г. был построен в районе Баку йодный завод, использующий в качестве сырья подземные нефтяные воды. Сейчас таких заводов у нас несколько: Небит-Дагский в Туркмении, Троицкий в Краснодарском крае.

Йод используется для йодирования поваренной соли (на 1 т поваренной соли добавляется 7,5—10 г йодида калия), трихлорид йода — в качестве хлорирующего вещества при синтезе некоторых органических соединений, а свободный йод — в металлургии для получения чистых титана, циркония и тория. Как окислитель йод применяется в реактивной технике, а в медицине — как дезинфицирующее средство.

Надо полагать, что производство йода будет непрерывно увеличиваться, так как в большинстве областей науки и техники этот элемент незаменим, а сами области применения могут только расширяться.

Селен очень мало распространен в земной коре, составляя 0,000005 % ее массы, но образует около сорока собственных минералов. В основном это селениды тяжелых металлов: меди, свинца, цинка, серебра. Изредка селен встречается в самородном состоянии. Селен сильно рассеян и месторождений не образует. Открыт этот элемент шведским ученым Й. Берцелиусом в 1817 г.

Сколько-нибудь в значительных количествах селен стали получать из отходов серноокислотного производства лишь в начале текущего века, причем несколько сот тонн производилось в предвоенные годы, а затем 1930 г.— 210 т, 1950 г.— 420 т, 1960 г.— 758 т, 1970 г.— 1292 т, 1978 г.— 1000 т.

В довоенные годы селен потреблялся главным образом в стекольной промышленности (для обесцвечивания и окраски

стекла в рубиновый и черный цвета) и для вулканизации резины (для увеличения ее сопротивления к окислению и истиранию, повышения эластичности). Селен использовался в металлургии для легирования нержавеющей сталей и улучшения качества медных сплавов. Теперь соединения селена, обладающие полупроводниковыми свойствами, служат для изготовления фотоэлементов в электронике и автоматике, для изготовления солнечных батарей. Селен — катализатор при синтезе многих органических соединений, его вводят в красители, а также в минеральные и растительные масла в качестве антиокислителя. Основным производителем селена в капиталистическом мире является США, Канада и Япония. В СССР селен получают с 1924 г.

Гелий, как принято считать, был открыт в 1868 г. в спектре Солнца французским и английским астрономами Ж. Жаксеном и Н. Локьером, хотя почти два десятилетия понадобилось на то, чтобы найти предполагаемый элемент в земном минерале — клеевите. Этот инертный газ, имеющий наименьшую температуру кипения из всех известных элементов, в 7,25 раза легче воздуха и лишь в 2 раза тяжелее водорода. Гелий — типичный продукт радиоактивного распада и его можно встретить в составе радиоактивных минералов, природных газах или в воздухе. В воздухе гелия содержится очень мало — около 0,00053 % по объему. Запас гелия в литосфере в сотни тысяч раз больше, чем в атмосфере, но и здесь концентрация его столь мала, что эти два объекта для извлечения гелия не используются.

Сейчас гелий добывается из природных газов, где его содержание может колебаться от сотых долей до десятков процентов. Экономисты считают, что добыча гелия в последние два десятилетия возросла примерно в 8—9 раз, а ежегодный прирост его мировой выработки достиг сейчас 12—15 % и к 2000 г. составит не менее 150 км³ в год. По некоторым оценкам, в 1980 г. во всем мире потребление гелия вряд ли превысило 25 км³.

В нашей стране гелий стали получать из природных газов в 1932 г., причем его производство только с 1951 по 1958 г. увеличилось в 10 раз; так же быстро росла добыча гелия и в 1959—1965 гг.

В последние годы гелий выделяют из природного газа Оренбургской области.

Успешно может развиваться гелиевая промышленность и в Польше, где в 1975 г. открыт природный газ в Острове, содержащий 40 % азота и 0,4 % гелия.

Большое количество гелия идет на создание инертной среды для получения и сварки некоторых металлов (титана, тантала, ниобия, бериллия, тория, урана, гафния), а также для охлаждения атомных реакторов, получения сверхнизких температур, необходимых при изучении явления сверхпроводимости металлов и сплавов, различных криогенных процессов и процессов, связанных с космическими исследованиями. Гелий вызывает желтое свечение рекламных трубок, гелиево-водородная смесь используется для наполнения дирижаблей и воздушных шаров, а гелиево-кислородная смесь — в водолазном деле и медицине.

Аргон открыт английскими физиками У. Рамзаем и Дж. Рэлеем в 1894 г. и был первым инертным газом, обнаруженным на Земле. Это обусловлено тем, что его содержание в воздухе — 0,934 % по объему — является самым большим по сравнению с концентрациями других его собратьев. Общее содержание аргона в воздухе примерно лишь на два порядка меньше, чем кислорода.

Аргон служит инертной средой для сварки алюминиевых, алюмомагниевого и титановых сплавов и для извлечения из руд таких металлов, как титан, тантал, ниобий, уран, бериллий, вольфрам, цирконий, гафний, рубидий, цезий. Аргон продувают жидкую сталь, что обеспечивает полное удаление из нее растворенных газов. В аргоновой атмосфере выращиваются монокристаллы, аргон заполняют лампы накаливания, ежегодно выпускаемые в миллиардных количествах. Сейчас установлено, что аргон оказывает эффективное воздействие на различные биологические процессы (стимулирует синтез аминокислот, превращение белков, прорастание семян), хотя механизм этого воздействия пока остается неясным.

Годовое производство аргона оценивается сотнями кубокилометров, а это составляет около 180—200 кт, 75 % добываемого аргона используется для резки и сварки металлов, около 10 % —

в электроламповой промышленности, примерно столько же — в металлургической промышленности.

МАЛОИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Рубидий и цезий относятся к группе щелочных металлов. Несмотря на то что в земной коре на долю рубидия приходится 0,015 % ее массы, собственных минералов металл не образует. Цезий же, содержание которого значительно меньше и составляет 0,00065 %, встречается в составе двух минералов. Естественно, что основная масса этих элементов-аналогов содержится в виде изоморфной примеси в соединениях широко распространенного щелочного элемента — калия. В химическом отношении эти элементы очень сходны и открыты были почти одновременно в 1861 г. и 1860 г. (одним и тем же методом спектрального анализа) немецкими учеными Р. Бунзеном и Г. Кирхгофом. Оба этих металла легко теряют электроны под действием света, обладают малой энергией ионизации. Цезий имеет радиоактивный изотоп (с периодом полураспада около 30 лет). Эти специфические свойства и определили их области использования: производство фотоэлементов, атомных часов, топлива в ионных двигателях управляемых снарядов; инфракрасная техника, дефектоскопия металлов, счет изделий на конвейере, производство зажигательных средств. Существенно их потребление и в других областях техники: в производстве специального стекла (сваривающегося с металлом), щелочных аккумуляторов (способных работать при резко отрицательных температурах), катализаторов. Некоторые их соединения используются в медицине.

По некоторым данным потребление рубидиевых продуктов в США в 1973 г. составило 490 кг, а цезиевой продукции было использовано: 1970 г.— 2,6 т, 1971 г.— 2,9 т, 1972 г.— 5,9 т, 1973 г.— 6,2 т, 1974 г.— 6,8 т. Обращает на себя внимание тот факт, что количество получаемых соединений рубидия и цезия весьма велико (больше 80), так же как весьма высока и их чистота.

Наша страна, располагая богатейши-

ми запасами калиевых руд, тем самым имеет неограниченные возможности для получения рубидия и цезия и предлагает эту продукцию на экспорт.

Бериллий — легкий элемент, индивидуальность которого была доказана французским ученым Л. Вокеленом в 1798 г. В порошкообразном виде бериллий был выделен в 1829 г., первый слиток из него удалось получить лишь в 1916 г., в промышленности элемент начал применяться с 30-х годов, когда были получены его первые тонны: 1932 г.— 2—3 т, 1939 г.— 32 т, 1950 г.— 240 т, 1960 г.— 360 т, 1971 г.— 300 т.

Бериллий обладает рядом положительных свойств: легкостью, сравнительно малой температурой плавления, достаточной твердостью, устойчивостью в воде и воздухе, а его прочность в три раза больше прочности стали и в полтора раза — титана. Но это вещество трудно обрабатывается и обладает токсичными свойствами.

Важнейшими областями применения бериллия и его сплавов стали авиационная, ракетно-космическая, радиоэлектроника и атомная промышленность. Из бериллиевой бронзы делают неискрящие инструменты для работы во взрывоопасных средах, из чистого бериллия изготовляют «окна» в рентгеновских трубках, этим же металлом легируют стали и другие металлы. Оксид бериллия служит для изготовления огнеупорных тиглей, а фторид бериллия — для изготовления стекол, прозрачных для ультрафиолетовых и инфракрасных лучей.

В России систематическая добыча драгоценного берилла, т. е. изумрудов, началась со второй четверти прошлого века, а первые работы, связанные с получением соединений бериллия, относятся к началу 30-х годов текущего века. Первая промышленная установка по электролизу бериллия была пущена в 1933 г. в металлургическом цехе завода новых металлов.

Хотя бериллий приобрел сейчас очень важное значение, добыча его, очевидно, резко не увеличится, так как этот элемент мало распространен, составляя лишь 0,0006 % массы земной коры, и сильно рассеян.

Галлий, индий, таллий были открыты во второй половине прошлого века с по-

мощью спектрального анализа. Галлий, предсказанный Д. И. Менделеевым под названием экаалюминия, открыл французский химик П. Лекок де Буабодран в 1875 г., индий — в 1863 г. немецкий физик Ф. Рейх со своим ассистентом И. Рихтером, а таллий — в 1861 г. английский физик и химик У. Крукс. В земной коре содержится приблизительно 0,0015 % галлия, 0,000014 % индия и 0,000045 % таллия. Все эти три элемента сравнительно тяжелые, очень низкоплавкие и мягкие, в земной коре сильно рассеяны, ядовиты, а потому в качестве самостоятельного конструкционного материала не используются. Их добывают в небольших количествах и получают попутно с другими металлами.

Соединения таллия начали применять в начале нынешнего века сначала для борьбы с грызунами. В дальнейшем бромид таллия стал использоваться в инфракрасной технике, а карбонат — в производстве стекла с большим коэффициентом преломления. Металлический таллий — составная часть кислотоупорных, подшипниковых сплавов и амальгам, а радиоизотоп таллия служит для снятия статического электричества с текстильных изделий. Достоверных сведений о производстве таллия нет, но оно весьма невелико и составляет приблизительно 15—20 т в год.

Индий еще в 1924 г. производился в количествах лишь десятков граммов, но начиная с 50-х годов его добыча быстро увеличивается: 1950 г.— 4,06 т, 1957 г.— 15 т, 1965 г.— 35 т, 1970 г.— 45—52 т. Главными производителями индия являются: Канада, Япония, США и ФРГ. Используется индий как составная часть легкоплавких сплавов, припоев, для покрытия подшипников, рефлекторов, нетускнеющих со временем. Его сплав с сурьмой идет на производство инфракрасных детекторов, позволяющих «видеть» в темноте нагретые предметы.

Галлий впервые стали получать в Германии в 1932 г., когда его было получено около 50 кг. Ориентировочно считается, что выпуск галлия составлял: 1957 г.— 0,25 т, 1971 г.— 3,5 т, 1976 г., 1977 г.— 15 т. Галлий, характеризующийся огромной разницей между температурой плавления и кипения, служит для изготовления высокотемпературных термометров,

а также низкоплавких сплавов. Небольшое количество галлия идет в стекольную промышленность (стекла на основе оксида галлия пропускают инфракрасные лучи), а радиоактивный изотоп галлия — в медицину (для диагностики рака кости). Одна из главных областей применения галлия — производство полупроводников.

Скандий, предсказанный Д. И. Менделеевым под названием экабора, открыт в 1879 г. шведским химиком Л. Нильсоном, а в металлическом виде получен лишь спустя шесть десятилетий. Скандий составляет только 0,0006 % массы земной коры, образует мало собственных минералов, относится к сильно рассеянным элементам. Потребление скандия в США в расчете на металл составляло несколько килограммов в год. По техническим данным использование скандия целесообразно в самолето- и ракетостроении, для легирования алюминия, чугуна, стали, но его дороговизна пока является непреодолимым барьером. В СССР оксид скандия получают из ильменитовых концентратов на Усть-Каменогорском титано-магниево-комбинате.

Германий — рассеянный элемент, на долю которого приходится 0,00014 % массы земной коры. Существование экакремния, или германия, предсказал Д. И. Менделеев, а открыл этот элемент в 1886 г. немецкий химик К. Винклер.

В сколько-нибудь значительных количествах германий стали получать во второй половине текущего века в связи с развитием полупроводниковой промышленности: 1946 г. — 0,1 т, 1955 г. — 23 т, 1965 г. — 100 т, 1980 г. — 200 т. В капиталистическом мире лидерами по производству германия в 1977 г. являлись Бельгия, США, Япония.

Германий произвел целую революцию в науке и технике. Во-первых, благодаря изучению германия была решена проблема получения веществ в сверхчистом состоянии, во-вторых, на основе его полупроводниковых свойств были изготовлены приборы (выпрямители, усилители, фотоэлементы), которые нашли самое широкое применение в счетно-решающих устройствах, в радио- и телевизионной технике, термометрической аппаратуре. Отметим также, что диоксид германия

используется для производства стекол, обладающих высоким коэффициентом преломления и прозрачностью в инфракрасной части спектра.

Гафний открыт в 1923 г. голландским спектроскопистом Д. Костером и венгерским химиком Д. Хевеши. Мало распространенный в земной коре элемент составляет 0,0003 % ее массы и образует всего лишь один собственный минерал (гафнон) — совместный силикат с цирконием. Отделять гафний от циркония очень трудно, и в Европе до 1930 г. было получено всего около 70 г диоксида гафния. Гафний обладает большой способностью поглощать тепловые нейтроны и на этом основании используется в атомной технике (в качестве регулирующих и защитных устройств ядерных реакторов). Гафний может быть использован в металлургической промышленности для самых различных целей, но он очень дефицитен, дорог и 90 % этого металла потребляется ядерной энергетикой. Получается гафний только попутно с цирконием, причем на 50 кг циркония приходится 1 кг гафния. В заметных количествах гафний стали получать только с 50-х годов, т. е. с того времени, когда начала развиваться атомная энергетика. В США гафний получают в количестве десятков тонн в год.

Ниобий открыт в 1801 г. английским химиком Ч. Хатчетом, в земной коре содержится в количестве 0,002 %, входит в состав почти 180 минералов, имеет высокую температуру плавления, в соляной, серной и азотной кислотах не растворяется, на воздухе и в воде не корродирует. Ниобий используется для легирования сталей и других сплавов. Даже очень небольшие добавки его делают стали коррозионно-стойкими и не теряют пластичности. Самые благоприятные воздействия оказывают небольшие добавки ниобия и на другие металлы (алюминий, титан, цирконий, молибден, медь). Ниобий с большим успехом может быть использован в атомной технике (не взаимодействует с ураном, мало поглощает нейтроны). Производство ниобия, утвердившееся в роли очень важного фактора прогресса в целом ряде важнейших отраслей промышленности и науки, набирает быстрые темпы роста (концентра-ты): 1940 г. — 570 т, 1950 г. — 1140 т,

1960 г.— 3100 т, 1970 г.— 20 300 т, 1978 г.— 30 000 т.

Тантал — тугоплавкий металл, на долю которого приходится 0,0002 % массы земной коры. Встречается тантал, как правило, совместно с ниобием в составе ниобатов, танталатов и тантало-ниобатов, образуя в общей сложности около 130 различных минералов. Открыт элемент в 1802 г. шведским химиком А. Экебергом, в металлическом виде получен в 1903 г., в промышленности же стал производиться с 1922 г. Тантал — один из самых тяжелых и тугоплавких металлов, устойчив к действию соляной, серной и азотной кислот.

США — лидер по производству тантала и главный потребитель этого металла (около 2 кт в год). Основная масса тантала (около 45 %) используется для легирования сталей, а также многочисленных сплавов с переходными металлами, 20 % тантала потребляет химическая промышленность (фильтры, катализаторы, кислотоупорные трубопроводы), 5 % — медицина, остальное — в качестве геттера (поглотителя газов), в электротехнической промышленности (конденсаторы, выпрямители) и в ювелирном деле. В СССР тантал стал производиться с 1933 г.

Рений открыт в 1925 г. немецкими учеными И. и В. Ноддак совместно с О. Бергом. Рений чрезвычайно мало распространен в земной коре, составляя $7 \cdot 10^{-8}$ % ее массы, сильно рассеян и образует, по-видимому, один минерал.

Первый грамм металлического рения супруги Ноддак получили в 1928 г. В США первые 4,5 кг были получены в 1943 г., сейчас рений получают в СССР, ГДР, ФРГ, Англии, Франции, Бельгии, Швеции, Канаде и Чили, причем общая его добыча составляет несколько тонн в год.

Рений имеет большую плотность, высокую температуру плавления, но сравнительно легко растворяется в азотной кислоте. Его используют в качестве составной части в сплавах с вольфрамом, молибденом, танталом и платиноидами, которые характеризуются большим удельным сопротивлением, высокими температурами плавления и малой окисляемостью. Применяются эти сплавы в радиопромышленности, в рентгеновских

установках и космической технике.

Платина имеет большую плотность, высокую температуру плавления, не растворяется в соляной, азотной и серной кислотах, с кислородом взаимодействует лишь при температуре выше 1000 °С, обычных солей почти не образует, но зато легко и в большом количестве образует комплексные соединения. В природе платина чаще всего находится в самородном состоянии и значительно реже в виде арсенидов, сульфидов и теллуридов. В земной коре ее содержится приблизительно $1 \cdot 10^{-6}$ %.

Крупные самородки платина образует редко, и, как утверждают минералоги, в Южной Америке за два с половиной века, а у нас на Урале за полтора столетия весом свыше 1 кг добыто не более двухсот крупных самородков. Самый крупный самородок весом 9,63 кг был найден в 1843 г. В коллекции Алмазного фонда СССР самым крупным является самородок платины весом 8,395 кг, найденный в 1904 г. на Урале. Мировая добыча платины после открытия уральского месторождения стала непрерывно увеличиваться: 1850 г.— 524 кг, 1870 г.— 2031 кг, 1900 г.— 5995 кг, 1913 г.— 7132 кг, 1917 г.— 3293 кг. Дореволюционная Россия являлась основным поставщиком платины на мировом рынке (более 90 %), причем вся эта платина добывалась на Урале, где в общей сложности за сто лет (с 1820 по 1917 г.) было получено около 300 т, что в десять раз больше, чем в Колумбии. В России с 1828 по 1845 г. чеканились платиновые монеты достоинством 3, 6 и 12 рублей.

После первой мировой войны добыча платины в капиталистических странах была небольшой (исчислялась единицами тонн в год), но в 1974 г. достигла рекордной цифры — 101,33 т, после чего стала несколько меньше: 1975 г.— 85 т, 1976 г.— 90 т. Платина — это не только ювелирный материал, но и катализатор в химической промышленности. Этот металл служит материалом фильтр, химической посуды, термопар, электродов, медицинских инструментов. Около 20—25 % платины используется в телемеханике, радиотехнике и медицине.

Палладий был открыт в 1803 г. английским химиком У. Волластоном. В земной коре его содержится $1 \cdot 10^{-6}$ %, но пал-

ладий распространен больше, чем другие платиновые металлы. Практическая значимость металла сравнительно невелика: области его применения — ювелирное дело, химическая промышленность (в качестве катализатора) и электротехника. В последнее время пластинки палладия стали использовать для очистки водорода. Хлорид палладия служит реактивом для обнаружения угарного газа (оксида углерода).

Добыча палладия сейчас стоит на втором месте (среди платиноидов) после платины и составляет около 25—30 т в год во всем мире. Первый металлический палладий был употреблен для изготовления медали за успешные труды по геологии, которая была впервые вручена Английским королевским обществом Ч. Дарвину. Вторая такая медаль была вручена академику А. Е. Ферсману. У нас палладий стали получать с 1922 г. В 1988 г. было изготовлено семь тысяч палладиевых монет достоинством 75 рублей.

Неон — открыт в 1898 г. английскими учеными В. Рамзаем и М. Траверсом. Среди благородных газов по содержанию в воздухе он стоит на втором месте — 0,0016 % по объему, уступая в этом отношении только аргону. До сих пор устойчивые химические соединения неона, гелия и аргона не получены и, очевидно, не будут получены, так как нет элемента, который бы обладал большим сродством к электрону, чем фтор, а он по отношению к этим элементам бессилен. Следовательно, можно говорить о практическом значении только простого вещества, но никак не соединений. Единственным источником для получения неона является воздух (здесь неона содержится около $7 \cdot 10^{11}$ т), откуда он и извлекается в количестве нескольких десятков тонн в год, причем ожидается рост добычи неона в среднем на 14 % ежегодно. В нашей стране получают неон, который по объему содержит 99,888 % основного компонента.

Раньше неон в основном расходовался для изготовления рекламных трубок и ограждающих красно-оранжевых светильников, теперь этот газ приобрел важное значение в криогенной технике, которая широко используется в научных исследованиях.

Плутоний получен в 1940 г. в лаборатории американского радиохимика Г. Сиборга. Затем этот радиоактивный элемент был обнаружен в земной коре, но в столь небольших количествах, что об извлечении его из природных соединений не может быть и речи. Радиоизотопы накапливаются в атомных реакторах и используются как энергетическое сырье и пока еще в качестве «заряда» атомных бомб. Плутоний — единственный металл, для которого установлено наличие шести полиморфных модификаций с заметно различающейся плотностью.

Общее количество плутония, накапливаемое сейчас в атомных реакторах, оценивается десятками тонн (3 т в 1972 г., 78 т в 1980 г.). С плутонием связывается энергетика ближайшего будущего. В нашей стране первые ничтожно малые количества плутония были получены путем облучения урана нейтронами в 1945 г., а в начале 1949 г. начал давать продукцию первый завод.

Теллур — рассеянный элемент, на долю которого приходится всего $1 \cdot 10^{-7}$ % массы земной коры, но этот элемент образует почти сорок собственных минералов, которые чаще всего представляют собой теллуриды тяжелых металлов. Очень редко теллур встречается в самородном состоянии, а также в виде диоксида.

Теллур открыт в 1782 г. венгерским минералогом Ф. Мюллером фон Рейхенштейном, но почти в течение полутора столетий не находил сколько-нибудь значительного применения. Теллур хрупок, легко измельчается в порошок, является полупроводником; солей серной, азотной, угольной и других кислот, а также комплексных соединений почти не образует. Соединения теллура, особенно его гидрид — теллуrowодород, очень ядовиты.

Сейчас основная масса теллура (до 80—90 %) применяется для легирования сталей, чугуна, медных и свинцовых сплавов, значительно меньше (около 6 %) потребляет химическая промышленность и около 5 % теллура используется для вулканизации каучука и в полупроводниковой промышленности.

Промышленная добыча теллура в капиталистических странах началась в 1930 г., причем в течение двух десяти-

летий составляла десятки тонн и лишь в 1960 г. перевалила за полторы сотни тонн и на этом уровне сохраняется до настоящего времени.

В России малые количества теллура стали получать в 1916 г., а теперь имеются широкие возможности для его получения, так как у нас в больших количествах производится серная кислота и цветные металлы, при рафинировании которых получается теллур.

Иттрий открыт шведским ученым Ю. Гадолином в 1794 г., этот элемент сравнительно мало распространен в земной коре и составляет 0,0028 % ее массы, но образует около ста собственных минералов, которые представляют собой соли фосфорной, кремниевой или других кислородсодержащих кислот. Не образующий месторождений иттрий сильно рассеян, встречается всегда вместе с лантаноидами, торием, скандием, ураном, и выделить его в чистом виде — задача чрезвычайно сложная. Этот легкий, тугоплавкий металл почти не поглощает нейтроны, достаточно устойчив к внешним условиям, легко обрабатывается, т. е. обладает многими полезными свойствами, но получать его в заметных количествах стали лишь в последнее время (сейчас за рубежом расходуют более 100 т иттрия в год). Металлический иттрий используется для трубопроводов для расплавленных урана и плутония, в качестве отражателя и замедлителя нейтронов, для легирования сталей и сплавов алюминия в авиастроении. Оксид иттрия входит в состав ферритов, используемых в качестве материалов для вычислительной техники и цветного телевидения.

РЕДКОИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Рутений открыт в 1844 г. в платиновых остатках профессором Казанского университета К. К. Клаусом. Содержание рутения в земной коре очень мало и не превышает $5 \cdot 10^{-7}$ %. Рутений, входящий в состав лишь трех минералов, получается в очень небольших количествах (ежегодно около 3 т в год).

Металл обладает рядом специфических свойств: хрупок, трудно отделяется от сопутствующих элементов, очень сильно

сорбирует водород, образует комплексные соединения с молекулярным азотом (что перспективно для извлечения азота из воздуха). Применяется рутений и в качестве селективного катализатора, для покрытия некоторых металлов и как составная часть специальных сплавов, используемых для производства космической аппаратуры, топливных элементов, термопар и «вечных» перьев. В нашей стране проблема получения рутения путем разделения сырой платины была решена в 1930 г.

Родий открыт в 1804 г. английским ученым У. Волластоном и относится к платиновым металлам. Собственных минералов металл не образует, сильно рассеян в земной коре, составляя около $1 \cdot 10^{-7}$ % ее массы. Ежегодная мировая добыча исчисляется сотнями килограммов. Первый родий из уральской платины был получен в 1925 г. Кроме Урала, родий добывается в Заполярье, а за рубежом в ЮАР, Канаде и Колумбии. Родий хрупок, трудно поддается механической обработке, но устойчив к кислотам и щелочам. Из сплавов родия с платиной изготавливают сосуды, применяемые в стекольной промышленности, лабораторной практике, а также термопары, рефлекторы, устойчивые к высоким температурам.

Осмий открыт в 1804 г. английским ученым С. Теннантом и также относится к малораспространенным платиновым металлам. В земной коре его содержится $5 \cdot 10^{-6}$ %. Собственные минералы осмия образует, но они редки и чаще вкраплены в сырую платину. Металл добывается в очень небольших количествах (в США в 1965 г. было использовано 46,2 кг осмия) и является самым дорогим из платиноидов. Основные месторождения располагаются на Урале, в Заполярье, США, Канаде и странах Южной Африки.

Осмий — самый тяжелый, твердый, высокоплавкий и очень хрупкий металл. Сплавы осмия с платиновыми металлами, вольфрамом и кобальтом идут на изготовление точных измерительных приборов, а чистый металл и его тетраоксид используются как катализаторы. Упомянутый оксид употребляется и в гистологической практике для окраски препаратов.

Иридий открыт в 1804 г. также английским химиком С. Теннантом. В земной коре содержится $1 \cdot 10^{-7}$ % иридия. Сопутствующий осмию иридий — тяжелый, тугоплавкий, твердый, коррозионно-стойкий и хрупкий металл, а потому обрабатываться может только в горячем состоянии. Ежегодно его получают в количестве около 1 т в год и используют для изготовления тиглей, мундштуков для выдувания тугоплавкого стекла, для покрытия металлов и керамики, а также в качестве катализатора. Особенно важно его значение для производства слаботочных контактов. Из сплава платины с иридием изготовлены эталоны метра и килограмма, а в последнее время металл используется для изготовления электрических стимуляторов сердечной деятельности.

Франций открыт в 1939 г. французским радиохимиком М. Перей в урановых рудах. Этот радиоактивный элемент стабильных изотопов не имеет (сейчас получено 18 радиоизотопов франция). Общее содержание франция в земной коре чрезвычайно мало. Пока ученые имели дело лишь с ультрамалыми количествами франция, и его химические свойства определялись не экспериментально, а по аналогии с другими щелочными металлами. Сейчас франций можно использовать для определения содержания в природных соединениях актиния и, возможно, для диагностики некоторых раковых заболеваний (саркомы).

Радий открыт в 1898 г. французскими учеными М. и П. Кюри, спустя более десяти лет получен в металлическом виде. Стабильных изотопов этот тяжелый аналог щелочноземельных металлов не имеет. В земной коре радия очень мало — всего $1 \cdot 10^{-10}$ % и из природных соединений его выделить очень трудно. До 1940 г. всего в мире получено только 1 кг соединений радия, а к настоящему времени 2,5 кг. В отдельные годы добыча радия сильно колебалась и очень редко превышала 100 г в год.

До 1924 г. радий получали почти исключительно из урановой смолки, добываемой в Яхимове (Чехословакия), где с 1909 по 1917 г. было получено около 16 г радия. В 1920—1921 гг. началась эксплуатация урановых залежей в Конго (сейчас Заир), а в 1923 г. построен

близ Антверпена (Бельгия) завод, который выдавал в год 12,5 г радия. Радий получали также в Канаде, ЮАР, Намибии, Австралии и Франции. В последние десятилетия сведения о добыче радия не публикуются.

В мае 1922 г. В. Г. Хлопин демонстрировал первый русский препарат радия делегатам III Менделеевского съезда. Тогда радий был важен как объект для изучения строения атома и как средство борьбы с злокачественными опухолями, теперь же элемент отошел на второстепенное место и в этом отношении. Этот металл играет сейчас определенную роль лишь как эталон радиоактивности и как источник радона, запасы которого постоянно пополняются за счет более чем скромных запасов радия.

Криптон, ксенон, радон — инертные газы, сведения о добыче которых в литературе найти трудно, хотя криптон и ксенон применяются для наполнения самых различных электроламп. Длина волны оранжевой линии изотопа криптона может быть использована в качестве эталона длины метра. Ксенон применяется в рентгенокопии головного мозга, а один из его изотопов — при физиологическом обследовании легких и сердца. Радон стабильных изотопов не имеет и используется как радиоактивный элемент. Области его применения: радоновые ванны, эманометры — приборы, применяемые геологами при исследовании горных пород и открытии радиоактивных руд. Криптон и ксенон открыты почти одновременно в 1898 г. английскими учеными У. Рамзаем и М. Траверсом, а радон в 1899 г. был выделен как эманация тория Э. Резерфордом и его сотрудником Р. Оуэнсом, работавшими в то время в Канаде. Главным источником для получения этих газов является воздух, в котором по объему содержится 0,001 % криптона, 0,000087 % ксенона и еще меньше радона. Установлено, что для получения 1 м^3 ксенона надо переработать 1 км^3 воздуха. В 60-е годы получены некоторые химические соединения (фториды, оксиды) этих газов. Среди них есть сильнейшие окислители и взрывчатые вещества, а потому не исключено их практическое использование в этом направлении.

Полоний открыт в 1898 г. супругами

М. и П. Кюри. Этот радиоактивный элемент стабильных изотопов не имеет, в земной коре содержится в еще меньших количествах, чем радий, а потому из природных соединений не добывается и получается искусственным путем при облучении висмута нейтронами.

Полоний относится к металлам, образуя главным образом катионные соединения. Один из его изотопов является чистым альфа-излучателем, ядерная энергия которого превращается в тепло и выделяется в таких количествах, что это тепло способно расплавить сам металл. Именно на основе этого изотопа была установлена «печка» на Луноходе-2. Важны в практическом отношении полоний-бериллиевые и полоний-борные источники нейтронов.

Астат стабильных изотопов не имеет, т. е. все его изотопы радиоактивны. Элемент был получен в 1940 г. американскими физиками Д. Корсоном, К. Мак-Кензи и Э. Сегре при облучении альфа-частицами мишени из висмута. В природе астат был обнаружен уже через три года, причем самые оптимистические подсчеты указывают на то, что общее его содержание в земной коре не превышает нескольких десятков граммов. Практическое значение весьма проблематично и связано с медициной (облучением щитовидной железы, более эффективным, чем действие йода).

Технеций искусственным путем получен в 1937 г. американским физиком Э. Сегре и итальянским физиком К. Перье. В земной коре этот радиоактивный элемент (обнаруженный в природе после получения в лаборатории) содержится в ничтожно малых количествах. Получается технеций в настоящее время в количестве десятков килограммов в ядерных реакторах, где его изотопы являются осколками деления урана. Технеций тяжелый, тугоплавкий, химически стойкий металл. Сверхпроводимость технеция выше, чем у других чистых металлов. Технеций очень дорог, но применяется в качестве конструкционного материала в атомной технике, а его калиевая соль в качестве ингибитора коррозии железа и малоуглеродистой стали.

Лантан и лантаноиды получили название редкоземельных элементов. Эти металлы исключительно сходны по свойствам,

весьма активны в химическом отношении, в земной коре встречаются в количестве 10^{-3} — 10^{-5} % в виде кислородных и фторидных соединений.

Только прометий, полученный в 1945 г., стабильных изотопов не имеет, в земной коре с достаточной достоверностью не обнаружен и единственным источником его получения пока являются атомные реакторы, где он накапливается в значительных количествах. Родоначальник группы редкоземельных элементов открыт в 1839 г. шведским химиком К. Мосандером. Другие стабильные элементы, входящие в состав редких земель, пытались разделить в течение целого века: с 1803 г., когда, как считают, был получен церий, до 1907 г., когда был выделен последний представитель этой группы — лютеций. Разделение этих металлов было столь сложным, что многие из них, а также их смеси путали между собой, поэтому химики разных стран заново открывали элементы, которые уже получали их предшественники. Лантаноиды начали получать в индивидуальном виде лишь два-три десятка лет назад, и теперь мировой уровень производства этих металлов составляет около 40 кт (в пересчете на оксиды). В нашей стране уже в 1965 г. получали все лантаноиды чистотой выше 99 % в таком количестве, что предлагали их зарубежным покупателям. Уже в 1884 г. оксид церия использовался (вместе с оксидом тория) для производства газокалильных сеток, усиливающих яркость газового света. Соединения церия и сам металл служат для производства кремней для зажигалок, а также трассирующих пуль и снарядов, для легирования сталей и сплавов. Для шлифовки и получения сортового стекла широко используются оксиды церия, празеодима, неодима, самария, эрбия. Для легирования сталей и сплавов чаще всего применяются не индивидуальные лантаноиды, а их смеси (лантан, церий, празеодим, неодим), известные под названием мишметалла.

Изотоп прометия может быть источником питания микробатарей. Самарий, европий, гадолиний — сильные поглотители нейтронов, а потому используются как составная часть защитных материалов в реакторостроении. Соли гадолиния служат для получения сверхнизких

температур. Изотоп туллия как гамма-излучатель вводится в портативные рентгеновские установки, широко применяемые в медицине и машиностроении.

Актиний и актиноиды — группа тяжелых радиоактивных элементов. Входящие в эту группу торий, уран, плутоний, добыча и значимость которых сравнительно велика, описаны ранее, теперь же необходимо сказать об остальных элементах этого семейства, практическая значимость которых пока неясна. Родоначальник группы — актиний стабильных изотопов не имеет, в земной коре встречается в очень небольших количествах. Открыт актиний в 1899 г. французским химиком А. Дебьерном. Три изотопа этого элемента встречаются в природе, но получен актиний искусственным путем в миллиграммовых количествах.

Протактиний встречается в земной коре примерно в таких же количествах, как актиний и радий, открыт в 1918 г. О. Ганом и Л. Мейтнер в Германии и одновременно Ф. Содди и Дж. Кранстоном в Великобритании. Стабильных изотопов не имеет. В 1927 г. было получено около 2 мг оксида протактиния, в 1934 г. — 100 мг (в этом же году был получен металлический протактиний), в 1955 г. во всех лабораториях мира было получено 3 г этого металла.

Нептуний искусственным путем получен в 1940 г. в США Э. Макмилланом и Ф. Эйблсоном. Один из его изотопов обнаружен в природе. Получается нептуний в относительно больших количествах (десятки килограммов), но существенного применения не нашел. Нептуний является самым тяжелым и самым низкоплавким из актиноидов.

В 40—50-е годы америций, берклий, калифорний, эйнштейний были синтезированы в Калифорнийском университете США путем ядерных реакций, осуществленных под руководством Г. Сиборга. Все эти элементы накапливаются в атомных реакторах, причем америций и кюрий в килограммовых количествах, берклий и калифорний — в граммовых, а эйнштейний — в миллиграммовых.

Калифорний используется в медицине (для лечения рака), а также при разведке нефти, золота и других полезных ископаемых.

Элементы № 102—107 (не все имеют официально утвержденные названия) характеризуются очень малыми периодами спонтанного полураспада и в атомных реакторах не накапливаются. Среди них три искусственных элемента — фермий, менделеевий и лоуренсий — также получены в калифорнийской радиационной лаборатории, а nobelий и другие — в дубнинской лаборатории ядерных реакций, руководимой Г. Н. Флеровым. Их изотопы получают бомбардировкой урана или плутония, ионами легких элементов (бора, неона или свинца, хрома, висмута). О практическом значении этих элементов говорить рано, но они важны для научного познания происхождения химических элементов, звезд и их эволюции.

ЛИТЕРАТУРА

Диогенов Г. Г. История открытия химических элементов.— М.: Учпедгиз, 1960.

Справочник для геологов: Требования промышленности к качеству минерального сырья.— М.: Госгеолтехиздат, 1960—1965.— Вып. 1—77.

Популярная библиотека химических элементов.— М.: Наука, 1977.— Кн. 1—2.

Диогенов Г. Г. Мировая добыча элементов и их значение // Химия в школе.— 1969.— № 3.

Валюты стран мира: Справочник.— М.: Финансы, 1976.

Мы и планета: Цифры, факты.— М.: Политиздат, 1980.

Диогенов Г. Г. Мировая добыча некоторых химических веществ и их использование // Химия в школе.— 1982.— № 3.

СССР в цифрах: Краткий статистический сборник.— М.: Финансы и статистика, 1980—1987.

Потапов В. М., Кочетова Х. К. Химическая информация: Где и как искать химику нужные сведения.— 2-е изд.— М.: Химия, 1988.

РЕДАКЦИОННЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Из истории физической химии и химической физики

Термин «физическая химия» существует в научной литературе уже более двух веков. Основываясь на исторических сведениях, можно считать, что этот термин впервые употребил русский ученый-энциклопедист Михаил Васильевич Ломоносов (1711—1765) в прочитанном Санкт-Петербургским студентам курсе физической химии, который предполагалось издать как учебник. Очевидно, в этом труде выразилось его стремление объединить физику и химию — две все более расхоdivшиеся области естествознания.

В отличие от классической химии, изучающей элементный состав веществ до и после химической реакции, физическая химия делала предметом исследования сами реакции как процессы, что и требовало введения нового раздела естествознания. В таком понимании термин «физическая химия» и появившийся около полустолетия назад термин «химическая физика» употребляются почти как синонимы, включая следующие наиболее общие разделы:

кинeтика (механика массопереноса) — учение о стадиях и скоростях химических реакций, а также каталитическом действии веществ, не являющихся конечными продуктами реакций;

электрохимия (электродинамика) — учение о процессах, протекающих с участием заряженных частиц как в однородной среде, так и на границе двух сред;

термохимия (термодинамика) — учение о химических и фазовых превращениях, сопровождающихся поглощением или выделением тепла;

спектpохимия (квантовая механика) — учение о взаимодействии вещества и электромагнитного излучения.

В то же время указанные термины употребляются и в более узком смысле для разграничения двух теоретических областей естествознания. В соответствии с ходом исторического развития исследования процессов на суммарном микроскопическом уровне принято относить к физической химии, а на детальном

микроскопическом уровне — к химической физике, хотя, конечно, границы между этими теоретическими областями достаточно условны.

Кинетика. Раздел механики, изучающий статическое состояние тел и динамические причины, его определяющие, принято называть кинетикой (этот термин происходит от греческого слова «движение»). В химии кинетические исследования связаны в основном с измерением веса или концентрации веществ в тех или иных химических процессах. Если признать, что химическая реакция есть движение частиц некоторой массы, то для ее описания разумно использовать механические соотношения сил, направляющих их движение, и расстояния между ними. Эти отношения соответствуют известному закону, который установил английский естествоиспытатель Исаак Ньютон (1643—1727): *сила взаимодействия двух тел прямо пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.*

Именно закон всемирного тяготения и имел в виду английский физик Джон Дальтон (1766—1844), когда попытался найти способ нахождения веса атомов. Предположив, что весовое отношение элементов в химическом соединении тождественно отношению весов их атомов, он установил закон кратных весовых отношений и относительную водородную единицу их измерения. Позднее французский химик Жозеф Гей-Люссак (1778—1850) установил закон кратных объемных отношений, согласно которым газы вступают в химические реакции. При этом оказалось, что при образовании воды вес водорода приблизительно в 8 раз меньше веса кислорода, а плотность (отношение веса к объему) — в 16 раз. Из этого следовало, что самый легкий атом водорода занимает объем в 2 раза больший, чем более тяжелый атом кислорода. Это противоречило закону Ньютона, а потому Дальтон считал кратные объемные отношения экспериментальной ошибкой, зависящей от условий проведения опытов.

Итальянский физик Амедео Авогадро (1776—1856), пытаясь устранить эти разногласия, предположил, что атомы

водорода связаны в двухатомную молекулу, и тогда согласно его гипотезе в равных объемах газов при одинаковых условиях содержится одно и то же число молекул. Равенство объемов, занимаемых разными по весу частицами, было объяснено тем, что размер молекул так мал, что несоизмерим с расстоянием между ними. Но тогда силы притяжения между частицами вещества не поддавались экспериментальной оценке, и поэтому механическая сила в химии так и осталась тем, что несколько неопределенно называли химическим средством.

Еще двести лет назад немецкий химик Карл Венцель (1740—1793) при растворении металлов в азотной кислоте установил, что средство веществ к растворителю обратно пропорционально времени их растворения. В начале прошлого века французскому химику Клоду Бертолле (1748—1822) также не удалось вывести формулу действия химического средства как силы притяжения. Однако качественно уже были описаны обратимые превращения через равенство сил средства прямой и обратной реакции.

Уже в конце прошлого столетия норвежские ученые — математик Като Гульдберг (1836—1902) и минералог Петер Вааге (1833—1900) предложили химический закон действия масс: *скорость реакции прямо пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ*. В таком понимании скорость реакции служила условным количественным показателем силы, с которой одно вещество стремится к другому, и тем самым позволяла оценивать возможность получения тех или иных веществ согласно некоторой шкале химического средства.

Еще до признания наиболее общей формулы закона действия масс русский химик Николай Александрович Меншуткин (1842—1907) выбрал скорость реакции получения эфиров критерием реакционной способности в ряду изомеров первичных, вторичных и третичных спиртов. Это было началом исследований влияния структуры веществ на скорость их химического взаимодействия. При этом выяснилось, что одни и те же реакции в различных средах идут с разной скоростью, что говорило о катали-

тическом действии на них растворителей (сам термин «катализ» происходит от греческого слова «разрушение», т. е. по изначальному смыслу близок к тому, что понимается под растворением). Катализаторы как вещества, способствующие течению реакций, но не входящие в число их продуктов, уже давно были известны химикам. Однако каталитическое действие описывали лишь качественно, и только кинетические исследования обещали дать количественную характеристику этого процесса. В результате этих исследований было установлено, что если под скоростью реакции понимать изменение концентрации реагента за определенный промежуток времени, то ее величина сложным образом зависела не только от состава и температуры среды, но и от периода измерений.

Более независимой от условий опытов была признана константа скорости химической реакции (коэффициент пропорциональности в формуле закона действия масс). Но поскольку в реальных химических процессах исходные реагенты нацело в продукты не превращаются, то более характерным параметром этих процессов следовало признать константу равновесия (отношение констант скорости прямой и обратной реакции). Следовало также разграничить моно- и би-, а также полимолекулярные реакции, идущие в несколько моно- и бимолекулярных стадий: к мономолекулярным реакциям были отнесены реакции разложения отдельного вещества, а к бимолекулярным — реакции соединения двух веществ. Эти кинетические характеристики были описаны в работах нидерландского химика Якоба Вант-Гоффа (1852—1911), ставшего лауреатом первой Нобелевской премии по химии.

В любой химической реакции часть участвующих в ней молекул распадается, а часть соединяется, но при соблюдении определенных условий один из этих процессов становится преобладающим. Следовательно, установив константу равновесия (характеризующую отношение масс реагентов и продуктов), можно заранее предполагать, сколько и каких продуктов получится из конкретных реагентов. Однако задача усложняется тем, что реальные процессы многоста-

дийны, поэтому условно их принято характеризовать скоростью самой медленной (лимитирующей) стадии, а все другие стадии считать практически мгновенными. Действительно, с технологической точки зрения важно знать лишь количественное соотношение между реагентами и продуктами и время, в течение которого завершится химическая реакция.

Очевидно, что таким путем нельзя было описать взрывные или цепные реакции, изучением которых занимался Николай Николаевич Семенов (1896—1986) — советский химик, удостоенный за эти исследования Нобелевской премии. В цепных реакциях в общем случае были выделены четыре основные стадии: зарождение, продолжение, обрыв и разветвление цепей. Каждая из них характеризовалась критическими параметрами, и механизм именно этих процессов лег в основу описания радиоактивного распада атомов химических элементов.

Что же касается скорости обычных химических реакций, то за столетний период их изучения были исследованы самые разнообразные факторы, влияющие на эту величину: состав и структура молекул, полярность и заряд ионов, температура и давление среды, электромагнитное и радиоактивное излучение. Взаимовлияние этих факторов оказалось столь сложным, что найденные эмпирические зависимости не поддавались строгому теоретическому расчету. Не удивительно, что преобладающим методом моделирования столь сложных процессов стал так называемый корреляционный анализ. Суть этого подхода заключается в том, что при изучении конкретных реакций один из указанных параметров считается основным, а влияние остальных сводится к фоновому или стандартному за счет проведения измерений в однотипных условиях. Поэтому в кинетических исследованиях химических процессов с самого начала их изучения наметилось несколько самостоятельных направлений.

Электрохимия. Электрические молнии при грозовом разряде наблюдались с незапамятных времен, но их природу очень трудно было связать с притягиванием мелких частичек натертой поверх-

ностью янтаря, что и считалось проявлением электричества (этот термин происходит от греческого слова «янтарь»). Еще до установления связи между химическими и электрическими явлениями итальянский естествоиспытатель Луиджи Гальвани (1737—1798) обнаружил электричество в цепи из двух разнородных металлических проводников, соединенных физиологической средой, роль которой выполняла мышечная ткань лягушки. Искусственное сокращение мышц, закрепленных на медном крючке и касающихся железной решетки, происходило под действием некоей силы, получившей название электродвижущей. Так называл эту силу другой итальянский ученый — Алессандро Вольта (1745—1827), которому удалось создать искусственный источник электричества, достаточно мощный для того, чтобы ощутимо воздействовать на химические вещества. Возрастание электродвижущей силы было обеспечено тем, что несколько элементов (названных гальваническими) объединялись в одну батарею. В вольтовом столбе такими элементами были два десятка медных и цинковых кружков, между которыми размещалась матерчатая прокладка, смоченная соевым раствором.

С подобными батареями проводили опыты и физики и химики, но наибольших успехов в этом достиг английский химик Гемфри Дэви (1778—1829), который экспериментировал с вольтовым столбом, подаренным самим автором, и видоизмененными гальваническими элементами. В его лаборатории электролитическим путем были впервые выделены щелочные и щелочноземельные металлы, проведен электролиз многих солей, кислот и оснований. В этой же лаборатории начал свои исследования другой английский ученый Майкл Фарадей (1791—1867), которому суждено было стать основателем количественной электрохимии. Открытые им законы электролиза, или электрохимического разложения, можно выразить общим соотношением: *вес осаждаемого на электроде вещества прямо пропорционален количеству электричества (первый закон) и весовому химическому эквиваленту (второй закон).*

В то же время было известно, что

движение противоположно заряженных частиц (катионов и анионов) в направлении электродов (катада и анода) рано или поздно прекращалось. Немецкий физик и физиолог Герман Гельмгольц (1821—1894) объяснил это тем, что вдоль поверхности соприкосновения твердого электрода с раствором электролита образуется в целом нейтральный двойной электрический слой. Этот подобный конденсатору слой образуется двумя параллельными рядами разнозаряженных ионов, что и препятствует течению электролиза. Действительно, измерение концентрации веществ в приэлектродном пространстве свидетельствовало о накоплении катионов и анионов, но при этом оказалось, что эти частицы движутся с разной скоростью, зависящей от состава среды.

Электропроводность среды (величина, обратная сопротивлению) измерялась в соответствии с известным законом, который установил немецкий физик Георг Ом (1787—1854): *сила тока равна отношению между напряжением и сопротивлением проводящей среды*. Как ни странно, электропроводность раствора могла увеличиваться при уменьшении концентрации электролита, хотя более полувека считалось, что ионы накапливаются под действием внешнего источника электричества. По-видимому, тот факт, что сила тока возрастает при уменьшении числа заряженных частиц, которые его образуют, и привел к предположению, что материя исчезает, превращаясь в энергию, поскольку изучавший это явление немецкий химик Вильгельм Оствальд (1853—1932) стал основоположником известного в философии течения, названного энергетизмом. Еще тогда, когда он преподавал в Рижском политехническом училище, у него стажировался шведский химик Сванте Аррениус (1859—1927), позднее за создание теории электролитической диссоциации удостоенный Нобелевской премии. Согласно этой теории ионы образуются и без внешней силы тока, т. е. вещество само по себе диссоциирует в растворе. При этом не все частицы распадаются на ионы, а только часть, доля которой растет с разбавлением, и лишь при бесконечном разбавлении электролит диссоциирует нацело. По-

этому электропроводность большинства электролитов увеличивается при разбавлении и стремится к некоторому предельному значению. Степень диссоциации (отношение числа распавшихся молекул к общему их числу, связанное с отношением электропроводностей стандартного и предельно разбавленного раствора) по существу стала поправочным коэффициентом в электролитическом уравнении закона действующих масс. На его основе и был выведен так называемый закон разбавления растворов электролитов.

Тем не менее оставалось непонятным, какая же сила в растворе обеспечивает диссоциацию веществ, названных электролитами. Не удивительно, что русский химик Дмитрий Иванович Менделеев (1834—1907), следуя своему учению о растворах, которым была посвящена его докторская диссертация, не признавал теории электролитической диссоциации. По его мнению, растворимое вещество вступает в химическую реакцию с растворителем, о чем свидетельствовало изменение температуры или окраски раствора. Но этот процесс можно было описать лишь качественно, поскольку растворимое и растворитель образуют соединения неопределенного состава. Хотя из пересыщенных растворов при кристаллизации осаждаются гидраты с определенным соотношением воды, оставалось неясным, существуют ли эти гидраты в разбавленных растворах.

Пытаясь разрешить ставшие непримиримыми разногласия, исследованием не только водных, но и неводных растворов занялись русские химики Иван Алексеевич Каблуков (1857—1942) и Владимир Александрович Кистяковский (1865—1952). Один из них закончил Московский, а другой Петербургский университет, но оба стажировались в Лейпцигском университете уже тогда, когда Оствальд организовал там специальную лабораторию, переросшую в физико-химический институт. После возвращения в Россию и тот и другой ученый работали в разных городах и независимо друг от друга пришли к решению объединить работы химического и электролитического направления. Согласно их выводам растворимое вещество распадается на ионы за счет

химического взаимодействия с полярными молекулами растворителя. Этот процесс получил общее название сольватации, а в частном случае при взаимодействии вещества с водой — гидратации.

С учетом влияния растворителя расчет степени диссоциации электролитов, показывающей, какая часть растворенного вещества находится в активной ионной форме, удалось создать условную, но практически пригодную шкалу для оценки силы электролитов. Такая оценка была удобной для количественной характеристики разбавленных растворов слабых электролитов, к числу которых относятся многие органические вещества. Что же касается сильных электролитов, среди которых в основном неорганические соли, то их степень диссоциации близка к единице, поскольку такие соединения считаются полностью ионизированными в любых растворах.

По мнению нидерландского физика Петера Дебая (1884—1966), активность иона сильного электролита зависит от толщины окружающей его ионной атмосферы, т. е. распределения ионов противоположного заряда. Это следовало из известного электростатического закона, который с помощью крутильных весов установил еще два века назад французский инженер Шарль Кулон (1736—1806): *сила взаимодействия двух заряженных частиц прямо пропорциональна произведению их зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними*. Для оценки того, насколько эта сила в реальных средах меньше, чем в вакууме, в основу закон электростатики был введен эмпирический коэффициент, названный диэлектрической проницаемостью. Эта поправка, характеризующая полярность реальных сред, позволяла ионы в растворе уподобить частицам идеального газа, но такое упрощенное представление соответствовало лишь разбавленным растворам. При переходе к концентрированным растворам оказалось очень трудным учесть дополнительные факторы, связанные с образованием химических соединений и существованием поверхности фазового раздела.

Еще со времен создания первых гальванических элементов обсуждался во-

прос о том, что происходит на поверхности соприкосновения твердых, жидких и газообразных веществ. В общем виде, если частицы вещества переходят из неподвижной среды в подвижную, то происходит растворение (сольватация), а при обратном процессе — осаждение (адсорбция). Постепенно эти процессы замедляются, что было объяснено образованием двойного электрического слоя. Этот же слой может обеспечить существование аномальных коллоидных растворов (название которых происходит от греческого слова «клей»), т. е. таких чрезвычайно распространенных в живой природе взвесей, в которых относительно тяжелые частицы не осаждаются, а образуют достаточно однородную студенистую жидкость.

Очевидно, силы притяжения и отталкивания между частицами разных веществ должны быть различными, а потому эти частицы в одном и том же потоке будут двигаться с разной скоростью. Это представление легло в основу хроматографии — наиболее распространенного метода разделения смесей веществ, основоположником которого признан русский физиолог и биохимик Михаил Семенович Цвет (1872—1919). При погружении листа бумаги в окрашенный раствор он наблюдал, что тонкий слой жидкости, поднимающийся по капиллярам бумаги, образует цветные полосы тех веществ, которые присутствовали в исходной смеси. Такое цветное распределение получило название хроматограммы (сам термин происходит от греческого слова «цвет»), а отношение расстояний, пройденных изучаемым и стандартным веществом, — коэффициентом распределения. Хотя последняя величина является некоторым количественным показателем, найти ее можно лишь эмпирически. Следует отметить, что все методы разделения смесей, связанные с движением подвижной фазы относительно неподвижной, требуют учета не только химических свойств частиц, но и динамических характеристик потока газов или жидкостей, переносящих эти частицы. Поэтому теоретическое описание этих процессов оказалось слишком сложным.

Таким образом, можно считать, что основная задача электрохимии — связать концентрацию растворов и электро-

проводность среды одним уравнением, включающим доступные измерению параметры,— так и осталась нерешенной. Но из этого положения был найден практический выход, состоящий в том, что при постоянстве одних параметров, т. е. при строгом соблюдении определенных условий, можно установить количественное отношение между другими. Этот подход широко используется в тех случаях, когда нужно провести химический анализ, т. е. найти концентрацию веществ по результатам измерения электропроводности (кондуктометрия), силы тока (амперометрия), количества электричества (кулонометрия), потенциала электродов (потенциометрия) или напряжения поляризации (полярография). Все эти измерения, как правило, проводятся после предварительного (чаще всего хроматографического) отделения мешающих примесей и при постоянной температуре.

Термохимия. Представление о теплоте, так же как и об электричестве, возникло намного раньше того времени, когда родилась термометрия (этот термин происходит от греческого слова «тепло»). Еще в древности мера нагревания тел оценивалась качественно по таким, например, признакам, как красное и белое каление в металлургии. Представление о температуре, несомненно, породило тепло человеческого тела (сам термин, образованный от латинского корня «темп», видимо, имеет медицинский смысл пульса). Кипение воды на огне и замерзание на морозе также были качественными ориентирами тепла, и не удивительно, что именно эти явления стали основой создания термометров, т. е. температурных шкал с двумя постоянными точками. Немецкий стеклодув Габриэль Фаренгейт (1686—1736) разделил эту шкалу на 180 частей, французский металлург и зоолог Рене Реомюр (1683—1757) — на 80 частей, а шведский астроном Андерс Цельсий (1701—1744) — на 100 частей, т. е. градусов температуры. Именно этим естествоиспытателям, занимавшимся самыми разнообразными опытами, удалось создать термометр, удобный для практических измерений. В разных термометрах внутри градуированной стеклянной трубки размещалась способная расширяться под

действием тепла жидкость (обычно спирт или ртуть). Интерес к этому явлению был столь велик, что французские ученые — химик Антуан Лавуазье (1743—1794) и математик Пьер Лаплас (1749—1827) провели многочисленные опыты, в которых исследовалось тепловое расширение различных тел.

Сначала под температурой и теплотой подразумевалось одно и то же. Но постепенно стало ясно, что нагревание разных количеств веществ до одной и той же температуры требует разных затрат тепла. Стремление выразить связь тепла с количеством вещества и породило представление о теплоте как об особой жидкости, названной теплородом. Этих взглядов придерживался шотландский химик и физик Джозеф Блэк (1728—1799), который обнаружил, что при сохранении постоянства температуры плавление и испарение воды требуют определенных затрат тепла. Для количественных тепловых измерений, осуществленных с помощью водяного колориметра, им было введено понятие о теплоемкости как о теплоте, которую нужно затратить на нагревание некоторого количества вещества на один градус.

В отличие от других стран в России учение о теплороде не стало господствующим. Причину этого можно видеть в том, что исторически ее культура больше наследовала древнегреческую философию, чем латинская культура западноевропейских стран. Действительно, Ломоносов как выпускник Славяно-греко-латинской академии следовал идеям древнегреческого атомизма, считая теплоту результатом вращательного движения «нечувствительных» частичек. Приблизительно в то же время в России работал швейцарский физик Даниил Бернулли (1700—1782), который считал, что теплота есть следствие поступательного движения частиц, из которых состоят все вещества. Именно его исследования, в которых было введено понятие о механической работе, признаны основой кинетической теории газов, т. е. теории движения несвязанных частиц. Очевидно, учение о внутреннем вращательном движении следует признать предвестником теории колебаний связанных частиц (образующих некую упорядоченную структуру твердых тел, а не

газов), хотя такой подход был надолго предан забвению.

Учение о теплороде как механической модели передачи теплоты оказалось удобным для расчета работы паровой машины, на усовершенствование которой возлагались особые надежды в то время, когда в развитых европейских странах осталось так мало лесов, что уже появились правительственные запреты на их вырубку. В механике под работой подразумевалось произведение силы и расстояния, что соответствовало произведению давления (отношения силы к площади) и объема пара, который рассматривался как идеальный газ. Эту механическую работу следовало связать с количеством теплоты, получаемой идеальным газом.

Согласно закону, который независимо установили английский химик Роберт Бойль (1627—1691) и французский физик Эдм Мариотт (1620—1684), *давление газа обратно пропорционально его объему*. Но это соотношение выполнялось лишь при обычных условиях, поскольку согласно другому закону, который установил французский физик Жак Шарль (1746—1823), *давление газа линейно зависит от его температуры*. Линейную зависимость описывала прямая, но начало ее не совпадало с условной нулевой точкой шкалы Цельсия (точки таяния льда). Если эту прямую продолжить до пересечения с осью абсцисс, то получится нулевая точка абсолютной шкалы температур. Эту шкалу ввел английский физик Уильям Томсон (1824—1907), за научные исследования удостоенный титула лорда Кельвина.

В результате введения шкалы Кельвина два закона идеальных газов можно было обобщить в виде очень простого соотношения: *произведение давления и объема газа прямо пропорционально его абсолютной температуре*. Это уравнение, включающее эмпирический коэффициент, названный газовой постоянной, вывел французский физик Бенуа Клапейрон (1799—1864). Если рассматривать левую часть этого отношения как работу, то правая должна была бы соответствовать теплоте, т. е. величине, пропорциональной температуре. Однако исследование цикла работы теплового двигателя, выполненное французским инженером Николой Карно (1796—

1832), показало, что всю теплоту пара превратить в механическую работу нельзя.

Поиски количественной меры перехода теплоты в работу привели к тому, что сразу несколько ученых попытались сформулировать ранее интуитивно подразумевавшуюся аксиому («из ничего ничего не бывает»), которая получила название закона сохранения энергии (т. е. величины, которая в переводе с греческого языка означает «действие»). Среди них были немецкий врач Юлиус Майер (1814—1878) и английский теплотехник Джеймс Джоуль (1818—1889), опытным путем установивший механический эквивалент теплоты, выделяемой при сжатии воздуха. Этот же закон, математически выраженный Гельмгольцем, получил название первого начала термодинамики. Существуют несколько формулировок этого начала, постулата, или аксиомы, но в общем смысле его можно выразить так: *теплота вещества не может перейти в работу полностью (невозможен вечный двигатель первого рода)*.

Также среди нескольких формулировок второго начала термодинамики можно выбрать наиболее общую: *холодное вещество не может отдать теплоту горячему (невозможен вечный двигатель второго рода)*. Этот постулат почти одновременно с Томсоном сформулировал немецкий физик Рудольф Клаузиус (1822—1888). Ему же принадлежит идея ввести в термодинамику такую величину, как энтропия. По существу, эта величина (в переводе с греческого языка означающая «превращение») соответствовала коэффициенту пропорциональности между теплотой и температурой вещества.

Можно сказать, что все теплотехники неявно подразумевали нечто похожее на энтропию, поскольку теплота зависела не только от температуры тела. Так, при плавлении и испарении, т. е. при фазовых переходах, температура оставалась постоянной, хотя вещество подвергалось нагреванию. Это заставляло предполагать, что энтропия как мера потери работы или рассеяния энергии связана с порядком расположения частиц, на разрушение которого тратится некоторое количество энергии. Трудность восприятия смысла энтропии заключалась в том,

что ее возрастание необратимо. Образно это можно выразить тем, что рассыпанные частицы самопроизвольно в определенной последовательности не соберутся. Поэтому позднее немецкий химик Вальтер Нернст (1864—1941) сформулировал третье начало термодинамики, которое в общем смысле можно выразить так: *вещество не может настолько упорядочиться, чтобы полностью потерять свою теплоту*. Все три начала термодинамики являются аксиомами, принимаемыми без доказательства, поскольку никогда не опровергались опытом.

Таким образом было установлено, что энэргия вещественной системы является суммой или разностью (знак зависит от направления процесса) теплоты (произведения энтропии и температуры) и работы (произведение давления и объема), т. е. функцией четырех переменных величин (энтропии, температуры, давления, объема). При таком математическом подходе к термодинамике, разработкой которого занимался американский физик Джозайя Гиббс (1839—1903), очевидно, что уравнение со столькими неизвестными можно решить лишь в том случае, если принять изначальные условия, при которых некоторые из них становятся постоянными. Действительно, на практике при постоянном значении давления и температуры производится расчет изобарно-изотермического потенциала, называемого также энергией Гиббса. Изобарно-изотропийный потенциал, соответствующий теплоте химической реакции, был назван энтальпией (этот термин образован от греческого слова «нагревание»).

Следует отметить, что в химии учение о теплоте химической реакции развивалось почти независимо от теплотехники. Еще двести лет назад в неясном виде предполагалось, что теплота взаимодействия двух веществ эквивалентна теплоте разложения их соединения. Открытие законов кратных весовых и объемных отношений, согласно которым вещества вступают в соединение, породило поиски и закона кратных тепловых отношений. Эту идею пытался реализовать русский химик Герман Иванович Гесс (1802—1850). Очевидно, что в его многочисленных опытах изыскивалась относительная единица теплоты, которой бы-

ли бы кратны тепловые эффекты всех реакций. Такие кратные отношений найти не удалось, хотя был открыт закон постоянства сумм тепла, получивший название закона Гесса. Экспериментально было доказано, что независимо от числа стадий теплота образования вещества, состоящего из нескольких элементов, приблизительно равна сумме теплот взаимодействия этих элементов друг с другом, в какой бы последовательности они не соединялись. Таким образом, величина теплового эффекта реакции стала еще одним эмпирическим показателем химического сродства, т. е. силы, с которой одно вещество реагирует с другим.

Спектрохимия. Очевидно, наблюдателям прошлых веков появление радуги при прохождении солнечных лучей через влажный воздух или радужных бликов при освещении драгоценных камней казалось призрачным (слово «спектр» в переводе с латинского языка означает «призрак»). Наблюдая разложение солнечного света призмой, Ньютон доказал, что каждый цвет радуги сохраняется при отражении и имеет особый угол преломления, т. е. подчиняется законам геометрической оптики. Для объяснения природы света им была предложена корпускулярная теория, согласно которой световой луч образуется незаметными частицами, подобно тому как капли воды незаметны в движении морской волны.

Метод измерения, как и само понятие, длины световой волны ввел английский механик Томас Юнг (1773—1829), и именно его представления о светоносном эфире, под которым подразумевалась некая непрерывная среда, были признаны основой волновой оптики. Им же была описана интерференция как явление, наблюдаемое при пересечении двух световых конусов, исходящих из отверстий одного экрана и образующих темные и светлые кольца на другом. По ширине этих полос с учетом законов геометрической оптики были рассчитаны длины волн радужного ряда от красного до фиолетового цвета. Приблизительно в это же время стали известными инфракрасные и ультрафиолетовые лучи. Интерференция последних была проявлена при проецировании колец на бумагу, пропитанную ляписом (нитратом серебра).

При разных условиях наблюдения

становилось заметным чередование не только цветных, но и темных полос солнечного спектра. Немецкий мастер изготовления оптического стекла Йозеф Фраунгофер (1787—1826) обнаружил более пятисот темных полос, которые всегда находились в одном и том же положении солнечного спектра, и с тех пор эти линии называются фраунгоферовыми. Среди них была заметной двойная линия в желтой части спектра. Оказалось, что в пламени спиртовки на этом же месте находится ярко-желтая линия. Значение этого факта осознали немецкие ученые Густав Кирхгоф (1824—1887) и Роберт Бунзен (1811—1899). Поскольку в желтый цвет пламя окрашивают соединения натрия, соответствующая темная линия в солнечном спектре должна была принадлежать этому металлу. Подобно тому, как преобразуется цвет окружающих предметов, если смотреть на них сквозь цветное стекло, излучению пламени соответствовала яркая линия, а поглощению — темная.

Почти сразу же изучение спектров щелочных металлов привело к открытию рубидия и цезия. В солнечном спектре астрономами были отмечены линии, позволившие предполагать существование еще неизвестного элемента — гелия, только потом обнаруженного в земных условиях. Все это говорило о том, что каждому элементу соответствовал определенный линейчатый спектр, но найти какую-либо закономерность в беспорядочном расположении полос было довольно трудно.

Швейцарский математик Иоганн Бальмер (1825—1898), а позднее шведский физик Юханнес Ридберг (1854—1919) и другие ученые попытались математически описать закономерность чередования линий в спектре водорода и некоторых легких атомов. Каждой линии (а потом и серии) был присвоен порядковый номер и поставлена в соответствие определенная длина волны. Но сами по себе многочисленные спектральные линии, так же как и математические соотношения расстояний между ними, не могли объяснить их происхождение. Поэтому следовало искать какие-то дополнительные данные в других областях естествознания, что зависело от того, признать ли свет потоком частиц или же волнами

эфира. И корпускулярные (прерывные), и волновые (непрерывные) процессы изучались несколькими поколениями математиков и механиков. В естествознании этим направлениям соответствовали, с одной стороны, атомно-молекулярное учение, а с другой, учение об электромагнитном поле. Но несмотря на разный подход к описанию радиоволнового, катодного (или электронного), рентгеновского и радиоактивного излучений, открытых приблизительно в одно и то же время, к концу прошлого века все ученые уже не сомневались в существовании сложной внутренней структуры атома.

Тела излучали свет и тепло при нагревании, а потому эти явления должны были подчиняться закону сохранения энергии. Чтобы доказать, что энергия излучения может переходить в механическую работу, русский физик Петр Николаевич Лебедев (1866—1912) провел тщательные и виртуозные опыты по измерению светового давления. Тем самым было доказано, что световой поток обладает энергией, но простую форму выражения этой энергии нашел немецкий физик Макс Планк (1858—1947). Подобно тому как теплота была выражена через произведение энтропии и температуры, было принято, что энергия излучения равна произведению кванта и частоты колебаний. Ни у кого не вызвало сомнения, что энергия излучения пропорциональна его частоте (величине, обратной длине волны), но спектр излучения был не сплошным, а линейчатым. Хорошо различимые спектральные линии или полосы говорили о том, что спектр длин волн был дискретным (прерывным), а следовательно, и сама энергия излучения была дискретной. Поэтому постоянная Планка, т. е. коэффициент пропорциональности между энергией и частотой излучения, приобрел особый смысл энергетического кванта (что в переводе с латинского языка означает «доля»). Другими словами, квант — это подобная энтропии, но дискретная часть энергии, которую необходимо затратить на то, чтобы изменить частоту излучения.

Дискретность электромагнитных волн не вытекала из законов механики, а потому не оставалось ничего другого, как постулировать этот факт, т. е. превратить в аксиому, принимаемую без до-

казательства. Так и поступил датский физик Нильс Бор (1885—1962), планетарная теория которого легла в основу современной атомной физики. Ко времени ее создания опыты с катодными лучами, проведенные английским физиком Джозефом Томсоном (1856—1940), позволили определить очень малую массу отрицательно заряженных частиц, названных электронами. Другой английский физик Эрнест Резерфорд (1871—1937) при радиоактивном распаде атомов наблюдал испускание альфа- и бета-частиц, потоки которых отклонялись в разных направлениях по отношению к катоду и аноду. Первые были отождествлены с гелийподобными частицами (по массе в 4 раза большими протона, т. е. катиона водорода), а вторые — с электронами. Пропускание и рассеяние альфа-частиц при прохождении через тонкие слои веществ говорило о том, что часть из них натывалась на некую мишень, которую следовало принять за ядро атома. В результате этих исследований и родилось представление о том, что в центре планетарного атома находится включающее положительно заряженные протоны ядро, вокруг которого как спутники вращаются отрицательно заряженные электроны. Их орбиты как бы ассоциировались с набором частот спектральных линий, и даже зрительно такие круговые орбиты можно было представить, наблюдая интерференционные кольца.

Круговое движение электрона описывалось, по существу, тем же механическим уравнением, что и движение спутника вокруг планеты, но набор электронных орбит был поставлен в соответствие ряду спектральных линий и получил название квантовых чисел. Поскольку некоторые линии оказались сдвоенными, то их появление было объяснено существованием не только круговых, но и эллиптических орбит: тогда наибольшему расстоянию точки орбиты от центра эллипса соответствовало главное квантовое число, а наименьшему — второе.

В дальнейшем нидерландский физик Питер Зеeman (1865—1943) обнаружил, что в магнитном поле исходные спектральные линии расщепляются на несколько составляющих (такое явление получило название эффекта Зеемана). Это породило представление о третьем

квантовом числе, появление которого объяснялось вращением плоскости эллипса за счет магнитных свойств, присутствующих в движущемся электрическом заряду. Под действием магнитного поля возникали также сдвоенные спектральные линии, что заставило ввести и четвертое квантовое число, существование которого можно было объяснить разным направлением вращения электрона вокруг своей оси.

Следует отметить, что такая наглядная модель атома даже современникам ее авторов казалась несколько умозрительной, но набором четырех квантовых чисел можно было описать положение почти всех спектральных линий и соответствующую им энергию излучения. Для этого вводился еще один постулат, или принцип, сформулированный швейцарским физиком Вольфгангом Паули (1900—1958). Согласно этому принципу каждый электрон в атоме должен характеризоваться разным набором квантовых чисел.

К тем же сериям спектральных линий и соответствующим квантовым числам можно было прийти и другим путем, если моделировать электромагнитное излучение не как движение частиц, а как колебания волн. Таким путем шел австрийский физик Эрвин Шрёдингер (1887—1961). Дискретность электромагнитного излучения можно было объяснить образованием стоячих волн, подобных тем, которые образуются при синусоидальном колебании натянутой струны. Форма таких уже описанных математически колебаний зависит от целого числа узлов, т. е. числа точек, остающихся неподвижными при колебательном движении остальных. Если от двумерного волнового процесса перейти к трехмерному, то длину электронной волны через волновую функцию можно связать с пространственными координатами электрона. Но практически определить положение электрона в пространстве невозможно, а потому более наглядным оказалось представление о плотности электронного облака, т. е. о вероятностном распределении электронов, определяемом расстоянием от атомного ядра.

В химии физическая теория строения атома должна была объяснить периодическое повторение свойств химических

элементов, которые Менделеев расположил в порядке возрастания из атомных весов, а также причину возникновения сил сродства, приводящих к соединению атомов в молекулы. Для сохранения электрической нейтральности планетарного атома следовало признать, что число отрицательных электронов равно числу положительных протонов, масса которых была принята за относительную единицу. Разность между общей массой атома (атомным весом) и массой протонов (атомным номером), следовательно, должна выражать массу некоторых нейтральных частиц, названных нейтронами. Но ядро атомов, состоящее из равных по единичной массе протонов и нейтронов, в обычных химических реакциях практически не затрагивается, а потому основное внимание следовало уделить электронам, масса которых столь мала, что не имеет химического смысла.

Периодам системы химических элементов, которые начинались со щелочных металлов и завершались инертными газами, было поставлено в соответствие определенное число электронных уровней (орбит), постепенно заполняемых от единицы до некоторого предельного значения. После того как число электронов становится равным атомному номеру инертного газа, начинается заполнение электронных уровней нового периода. Поэтому подобие свойств элементов одной группы объяснялось равным числом внешних или валентных электронов, которые участвуют в химической связи и соответствуют формулам химических соединений. Образованию ионных соединений отвечал переход электрона от одного атома (металла) к другому (неметаллу), а ковалентных соединений — вращение электрона около сразу двух атомов (неметаллов).

Но таким путем было трудно описать пространственное расположение атомов в молекуле, так же как и молекулярные спектры химических соединений. Чтобы объяснить слияние или расщепление спектральных линий атомов при образовании ими молекул, следовало предположить, что электронное облако как бы деформируется и вытягивается в направлении линий химических связей. Если в связи участвует несколько пар электронов, то плотность их гантелеоб-

разных облаков перераспределяется таким образом, что проявляется форма многогранников; т. е. пространственная форма молекул.

Рассчитав энергетические вклады на различные электронные конфигурации, можно составить таблицу, по смыслу близкую к шкале сил химического сродства. Но, как правило, согласования энергий электронных переходов и структуры соединений добиваются полуэмпирическими методами, а потому такой подход имеет больше пояснительное, чем предсказательное значение. Причем корреляционные квантовомеханические расчеты довольно трудоемки, а потому нельзя сказать, что в обычных химических лабораториях метод практически используется, хотя теоретически с его помощью удалось перейти от атомов, имеющих форму шарообразного облака, к молекулам, имеющим форму многогранных тел.

Тем не менее практическая спектроскопия — незаменимый метод качественного и количественного химического анализа: регистрация конкретных спектральных линий говорит о присутствии, а интенсивность этих линий — о концентрации вполне определенных веществ.

* * *

В заключение следует отметить, что все рассмотренные физико-химические и химико-физические процессы далеко не так просты, как исходные модели и понятия, положенные в основу их изучения. Многие из них сейчас уже описаны формальным математическим языком, позволяющим рассчитывать параметры самых сложных систем и процессов. Однако одну и ту же систему можно рассматривать и на макроскопическом (интегральном), и на микроскопическом (дифференциальном) уровне. Один и тот же процесс можно моделировать и как волновое (непрерывное), и как дискретное (прерывное) движение. Поэтому так важно понимание смысла исходных понятий и общее представление о тех параметрах, которые можно только измерить или только рассчитать. Смешение этих понятий приводит к тому, что одно явление объясняется через другое, а объяснение последнего требует возвра-

щения к первому. Так, способность веществ вступать в реакции объясняют высокой энергией их связи, а высокую энергию связи — способностью веществ образовывать прочные соединения. В действительности химики осуществляют химические реакции, руководствуясь больше интуитивным практическим опытом, чем какими-либо расчетными методами. Вопрос же о силах химического сродства, изучением которого уже три столетия занимается химия, и сейчас остается открытым.

Л. А. Садовникова



НАУЧНО-БИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА

В 1989 г. исполнилось 30 лет серии «Научно-биографическая литература» (НБЛ) Академии наук СССР. За это время опубликовано уже более 400 биографий известных ученых, и каждая книга серии, включающая биографический очерк, хронологический обзор и библиографический указатель, является своеобразным справочным изданием. Среди этих книг уже немало научных биографий химиков и физиков, имена которых вошли в историю физической химии и химической физики.

Дмитрий Иванович Менделеев / Фигуровский Н. А.— 1-е изд.— М.: Изд-во АН СССР, 1961.— 315 с.; 2-е изд.— М.: Наука, 1983.— 287 с.

Лавуазье / Дорфман Я. Г.— М.: Изд-во АН СССР, 1962.— 327 с.

Герман Иванович Гесс / Соловьев Ю. И.— М.: Изд-во АН СССР, 1962.— 104 с.

Джозайя Виллард Гиббс / Франкфурт У. И., Френк А. М.— М.: Наука, 1964.— 279 с.

Гельмгольц / Лебединский А. В. и др.— М.: Наука, 1966.— 319 с.

Эрнест Резерфорд / Старосельская-Никитина О. А.— М.: Наука, 1967.— 316 с.

Владимир Александрович Кистяковский / Фигуровский Н. А., Романьков Ю. И.— М.: Наука, 1967.— 136 с.

Николай Александрович Меншуткин / Старосельский П. И., Соловьев Ю. А.— М.: Наука, 1969.— 295 с.

Вильгельм Оствальд / Родный Н. И., Соловьев Ю. И.— М.: Наука, 1969.— 375 с.

Амедео Авогадро / Быков Г. В.— М.: Наука, 1970.— 184 с.

Михаил Семенович Цвет / Сеченкова Е. М.— М.: Наука, 1973.— 307 с.

Вант-Гофф / Добротин Р. Б., Соловьев Ю. И.— М.: Наука, 1977.— 271 с.

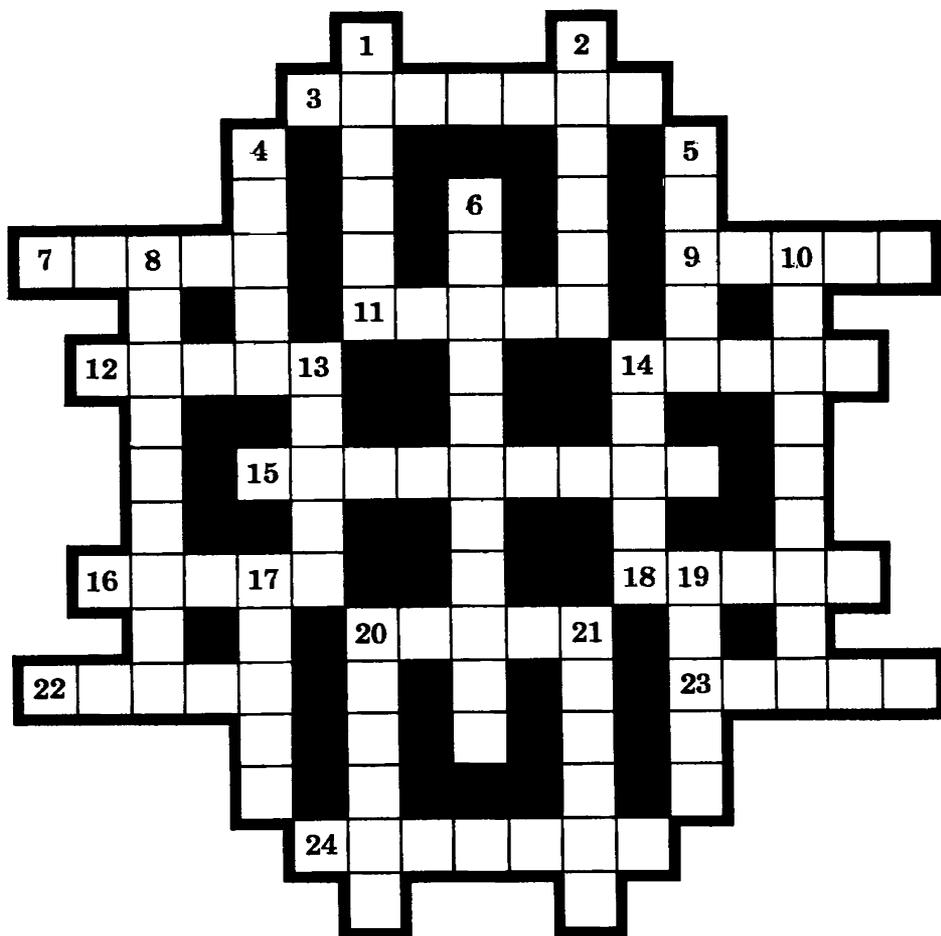
Нильс Бор / Кляус Е. М. и др.— М.: Наука, 1977.— 384 с.

Петр Николаевич Лебедев / Сердюков А. П.— М.: Наука, 1978.— 327 с.

Макс Планк / Кляус Е. М., Франкфурт У. И.— М.: Наука, 1980.— 391 с.

Даниил Бернулли / Григорьян А. Т., Ковалев В. Д.— М.: Наука, 1981.— 318 с.

Михаил Васильевич Ломоносов / Павлова Г. Е., Федоров А. С.— М.: Наука, 1986.— 463 с.



ХИМИЧЕСКИЙ КРОССВОРД (№ 7)

По горизонтали. 3. Характеристика электромагнитного излучения. 7. Место хранения вещей и документов. 9. Немецкий химик, с именем которого связан процесс получения синтетического бензина. 11. Синоним этенила. 12. Вещество, способное к передаче электронов. 14. Элемент, который было легче обнаружить в космосе, чем на земле. 15. Гормон, повышающий артериальное давление при нервных и физических нагрузках. 16. Металл, окрашивающий пламя в красный цвет. 18. Древний город, у стен которого находилась священная роща, названная академией. 20. Радикал предельного углеводорода. 22. Биополимер, построенный из остатков аминокислот. 23. Шведский химик, принявший впервые выделенный им хлор за «дефлогистированную муриевую кислоту». 24. Серебристый металл, название которого родилось в результате прибавления уменьшительного суффикса к испанскому слову «серебро».

По вертикали. 1. Советский химик-технолог, который создал Центральную химическую лабораторию, переросшую в научно-исследовательский институт, названный его именем. 2. Продукт гидратации этилена. 4. Клеймо на коже животных. 5. Метод обработки расплавленных металлов. 6. Переход вещества из газообразного в жидкое состояние. 8. Пигмент, название которого происходит от греческого словосочетания «зеленый лист». 10. Реакция, сопровождающаяся потерей электронов. 13. Радиоактивный аналог бария. 14. Пластичная мелкодисперсная горная порода. 17. Частица горящего или раскаленного вещества. 19. Фамилия пяти известных немецких химиков. 20. Английский физик, именем которого названа единица теплоты. 21. Сплав меди с цинком и оловом.

Ответы на кроссворд (№ 6)

По горизонтали. 1. Гранула. 6. Аурум. 7. Му-
мия. 8. Мастика. 9. Пресс. 13. Трава. 16. Аспи-
рин. 17. Вольфрам. 18. Ангстрем. 20. Пипетка.
21. Огонь. 23. Грамм. 27. Импульс. 28. Йодат.
29. Ершик. 30. Миндаль.

По вертикали. 1. Гамма. 2. Нафталин. 3. Ал-
маз. 4. Суфле. 5. Лимфа. 9. Правило. 10. Суль-
фан. 11. Испания. 12. Бионика. 14. Раствор.
15. Атомизм. 19. Теллурид. 22. Осмос. 24. Ал-
лил. 25. Битум. 26. Осень.

Научно-популярное издание

Г. Г. Диогенов

С. Б. Леонов

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОЧЕРКИ О ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ

Редактор **Е. Р. Воронцова**
Мл. редактор **О. В. Березкина**
Худож. редактор **М. А. Бабичева**
Техн. редактор **О. А. Найденова**
Корректор **В. И. Гуляева**

ИБ № 10209

Сдано в набор 13.04.89. Подписано к печати 08.06.89. Т-01056.
Формат бумаги 70×100¹/₁₆. Бумага кн.-журнальная. Гарнитура
литературная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 3,90. Усл. кр.-отг. 8,12.
Уч.-изд. л. 4,42. Тираж 22 540 экз. Заказ 843. Цена 15 коп.
Издательство «Знание». 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд
Серова, д. 4. Индекс заказа 896006.

Ордена Трудового Красного Знамени Чеховский полиграфический
комбинат Государственного комитета СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли
142300, г. Чехов Московской области

АНКЕТА СЕРИИ «ХИМИЯ»

Уважаемые читатели, не могли бы вы ответить на вопросы редакции с тем, чтобы ваши предложения и замечания могли активно влиять на разработку тематики нашей серии. Именно от вашей заинтересованности зависит подбор авторов и содержание материалов, публикуемых в брошюрах серии «Химия».

1. Возраст _____
2. Образование _____
3. Профессия _____
4. Сколько лет Вы выписываете брошюры серии Химия? _____
5. Какие темы Вас больше интересуют? _____

6. Назовите лучшие брошюры _____
7. Какие брошюры Вы считаете особенно полезными? _____

8. Какие недостатки брошюр Вы видите (стиль, содержание, оформление)? _____
9. Считаете ли Вы, что брошюры должны быть более популярными или Вас не устраивает их научная информативность? _____
10. На каких читателей, по Вашему мнению должна быть рассчитана серия (на школьников, учителей, студентов, преподавателей, специалистов смежных наук)? _____
11. Знают ли Ваши коллеги о брошюрах серии «Химия»? _____

12. Нужны ли Вам редакционные приложения в конце брошюры (знаменательные даты, обзоры выставок и конференций, изобретений и открытий; практические и методические советы, статистические данные, справочные указатели)? _____

13. Ваши предложения по тематике брошюр и составу авторов _____

14. Другие предложения и замечания _____

*Адрес подписчика:***Издательство «Знание» —**

*крупнейшее в стране
издательство
по выпуску
научно-популярной
литературы.*

**Издательство выпускает
40 серий подписных
научно-популярных брошюр**



**Издательство
Знание.**

Подписная
научно-
популярная
серия

Дорогой читатель!

ХИМИЯ

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

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

*Напоминаем Вам, что сведения о подписке Вы можете
найти в «Каталоге советских газет и журналов»
в разделе «Центральные журналы»,
рубрика «Брошюры издательства «Знание»*

Цена подписки на год 1 р. 80 к.

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