

Справочник по редким металлам

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 621
ББК 34.4
С74

С74 Справочник по редким металлам / – М.: Книга по Требованию, 2012. – 934 с.

ISBN 978-5-458-28306-9

Для инженерно-технических и научных работников заводов и научно-исследовательских институтов, преподавателей ВУЗов, аспирантов и студентов старших курсов.

ISBN 978-5-458-28306-9

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2012
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2012

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА КО 2-МУ ИЗДАНИЮ

За годы, прошедшие со времени подготовки материалов для 1-го издания «Справочника по редким металлам», которые вошли в эту книгу, появилась масса новых данных. По объему этот дополнительный материал, по-видимому, превосходит все то, что было известно по указанным металлам шесть лет назад. Эти новые сведения, широкое применение многих редких металлов и интерес к ним, а также серьезные успехи в области их производства делают 2-е издание ценным и необходимым.

Одним из фактов, свидетельствующих о непрерывно возрастающем в настоящее время значении редких металлов, является проведение многочисленных симпозиумов с предварительными сообщениями о достижениях технических обществ в США и в других странах. Другим доказательством является непрерывно увеличивающееся количество данных по техническим характеристикам этих металлов, что свидетельствует также о прогрессе в создании конструкционных материалов.

Характерным для такой значительной волны интереса, проявляемого к редким металлам и к работам в этой области, является увеличение объема знаний по редкоземельным металлам, большинство которых фактически ранее не было известно в чистом виде. Исследовательские работы и разработка производственных процессов в Эймсской лаборатории (Институт атомных исследований) и в других учреждениях, проводящих исследования в области редкоземельных металлов, способствовали включению в книгу сведений еще о 16 новых металлах (считая скандий и иттрий) с ценными и особыми свойствами.

Хотя большинство металлов, которым уделено внимание в этой книге, нельзя более назвать «редкими», поскольку объем их производства измеряется тоннами, они все же включены в книгу, хотя бы просто потому, что нет никаких явных причин, по которым их следовало бы исключить. Они до сих пор довольно необычны для большинства металлургов, и удобная подборка сведений о них в одном томе, хотя бы для справок, является ценной для читателей. Помимо этого, их нельзя приравнять к более распространенным металлам по стоимости, кроме марганца, который дешевле олова и никеля.

К числу металлов, рассмотренных ранее, добавлены некоторые новые: иттрий, плутоний, рубидий, скандий, хром, цезий, а по ниобию и танталу включены отдельные главы. Всего вторым изданием охвачено 55 металлов. За редким исключением в этих главах представлен более содержательный и ценный материал, причем не только за счет дополнительных данных, полученных за последние несколько лет, но и за счет рассекречивания прежде закрытой информации.

Интерес, проявленный читателями к 1-му изданию, предопределил прежнюю форму подачи материала по главам с упором на сами элементы, а не на их соединения. Не было внесено никаких существенных изменений с точки зрения принципов включения нового материала, которые не были бы оспариваны в предисловии к 1-му изданию.

Редактор благодарен всем новым соавторам, а также всем тем, кто с готовностью пересмотрел первоначальный вариант написанных им глав. Без их помощи редактор не смог бы подготовить это издание.

Исключительная благодарность выражается Холи, ответственному редактору отдела книг издательства «Рейнгольд», и его сотрудникам за обработку рукописи и за работу, связанную с осуществлением нового формата, который был выбран для этого издания.

И, наконец, благодарю мою жену Мэрилин и дочь Бет за большую помощь в работе.

Скоки, шт. Иллинойс,
февраль 1961 г.

Клиффорд А. Гемпел

C. A. Hampel, Consulting Chemical Engineer, Skokie, Ill.

Вторая мировая война не только глубоко затронула основные области науки и техники, но и повысила также темпы внедрения новых достижений и расширила масштабы их применения. С тех пор эти тенденции сохраняются, причем никаких признаков замедления неуклонного прогресса не наблюдается.

Возник новый и разносторонний интерес к материалам, которые в состоянии удовлетворить изменяющиеся и непрерывно растущие требования технологии. Для исследовательских работ и новой техники потребовались материалы, ранее не известные или считавшиеся научной диковинкой.

Первое место среди таких материалов занимают редкие или необычные по своим свойствам металлы. Ускорение темпов освоения научных достижений показало, что довольствоваться получением редких металлов в лабораторных масштабах нельзя. Если до войны редкими металлами занимались лишь отдельные научные работники, то теперь в данной области работают сотни ученых, пополняя наши знания о способах получения и областях применения этих металлов. Об этом свидетельствует, например, множество научно-исследовательских программ по вопросам получения и применения редких металлов.

Едва ли нужно напоминать общеизвестную историю с ураном (и в меньшей мере с торием), необходимым для получения атомной энергии, но она показывает стремительность роста спроса на весьма дефицитный металл, все наличие которого в чистом виде составляло в 1940 г. всего несколько граммов. Сведения о нем в ту пору были настолько скудны, что даже температура его плавления не была точно известна. Так, в одном физико-химическом справочнике за 1943 г. указывалось, что температура плавления урана не превышает 1850° , тогда как в настоящее время известно, что она составляет 1132° . Наряду с этим возник спрос и на бериллий высокой степени чистоты для применения в качестве источника нейтронов в урановых котлах.

С тех пор работы в области ядерной энергетики вызвали повышенный интерес и к другим металлам с особыми свойствами, в частности к галлию, индию и висмуту, как возможным теплоносителям, к очищенному от гафния цирконию, как к весьма коррозионностойкому конструкционному материалу с малым поперечным сечением захвата тепловых нейтронов, к таким элементам, как гадолиний, гафний и бор, высокое поперечное сечение захвата тепловых нейтронов у которых делает их полезными материалами для регулирующих стержней, и к плутонию, как к ядерному топливу.

Такая быстро развивающаяся отрасль, как электроника, нуждается во многих редких металлах для разнообразных целей. В качестве примеров достаточно указать, что германий и кремний требуются для изготовления полупроводниковых триодов и других устройств на полупроводниках; селен нашел применение при производстве фотоэлементов и выпрямителей;

вольфрам и бериллий — для рентгеновских трубок; тантал — для электронных ламп и конденсаторов передающих устройств; молибден — для приемных электронных ламп; платина и вольфрам — для контактов и тсл-лур — как полупроводник в термоэлектрических устройствах.

Применение кобальтовых сплавов для работы при высоких температурах и для изготовления постоянных магнитов вызывает острую потребность в кобальте, которого раньше производилось почти столько же, сколько и серебра. Титан, отличающийся высокой прочностью и малой плотностью, представляет значительный интерес для авиационной и судостроительной промышленности, и на него обратили серьезное внимание. Хотя проявляемый к титану интерес то возрастает, то уменьшается в зависимости от требований программы развития военно-воздушных сил, все же этот металл, несомненно, займет свое место в технике среди основных конструкционных материалов. Чтобы удовлетворить спрос на бериллий, обладающий уникальными свойствами для ядерной и космической техники, его производят в непрерывно возрастающих количествах. Многим другим отраслям промышленности также нужны в той или иной степени редкие металлы для удовлетворения специальных требований, возникающих при практическом применении новых открытий, но приведенные примеры достаточно хорошо показывают весьма разнообразный и растущий спрос на эти металлы.

Все эти металлы считаются редкими: 1) из-за ограниченности природных запасов или малого содержания в земной коре; 2) вследствие низкой концентрации даже сравнительно распространенных металлов в доступных месторождениях, так что возможна только ручная разработка, и для извлечения даже небольших количеств нужного элемента в виде соединений или в свободном состоянии приходится перерабатывать громадную массу пустой породы, а также потому, что месторождения руд с экономически выгодной концентрацией немногочисленны; 3) из-за трудностей выделения в элементарном состоянии, связанных с химическими и физическими свойствами элемента; 4) из-за отсутствия спроса даже на довольно доступные, но более дорогие по сравнению с другими материалами металлы.

Само собой разумеется, что решающим фактором здесь являются экономические соображения. Химики, инженеры и металлурги достаточно изобретательны, чтобы найти способы получения того или иного металла, если только при этом расходы не служат препятствием. Ведь прежде чем окажется возможным широко применять металл в различных областях, его нужно научиться получать с приемлемыми расходами. Исключение составляют только стратегические металлы, особенно уран, стоимость производства которых, естественно, в расчет не принимается.

Производство и применение многих редких металлов могут тормозиться при несоответствии между производством и сбытом. Так, сбыт часто ненадежен, пока металл не выпускается в достаточном количестве, и, наоборот, иногда металл не производят, так как на него нет гарантированного спроса. Чтобы разорвать этот заколдованный круг, нужна известная смелость со стороны предпринимателя, сознательно ищущего рынок и новые области применения металла, который он может начать выпускать. Так обычно делается в химической промышленности, в которой ежегодно выпускают много новых продуктов, а затем уже находят для них области применения и рынки сбыта. Такой же практике все больше начинают следовать и в металлургии, чем отчасти и объясняется разносторонний интерес к редким металлам.

Большое значение для расширения знаний по вопросам, связанным с производством, свойствами и областями применения редких металлов, а также с ростом их применения, имеют программы исследований и развития

КАЭ США* и различных учреждений, работающих на оборону. Когда при осуществлении этих программ возникает спрос на какой-то определенный металл, правительство часто обеспечивает поставку промышленного оборудования, необходимого для производства этого металла. В большинстве случаев при этом на предприятиях создаются резервные производственные мощности, так что может оказаться выгодным и экономически оправданным применение этих металлов и в мирных целях.

РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ В ПРИРОДЕ

Хотя на применение металлов в технике, помимо спроса на них, могут оказывать влияние многие факторы, самый важный из них — распространенность металлов в земной коре; по степени распространенности металла в земной коре можно судить о том, насколько редким является тот или иной металл.

Один из самых последних сводных обзоров по вопросу о среднем содержании элементов в земной коре составлен Мейсоном [6, стр. 41]; за основу им взяты главным образом последние данные Гольдшмидта (Норвегия) и Кларка (США). В табл. 1 указана степень распространенности элементов в порядке убывания.

Таблица 1

СРЕДНЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗЕМНОЙ КОРЕ ^a [6, стр. 41]

Элемент	Содержание, г/т	Элемент	Содержание, г/т	Элемент	Содержание, г/т	Элемент	Содержание, г/т
O	466 000	Cr	200	Ge	7	Tl	0,6
Si	277 200	V	150	Be	6	Hg	0,5
Al	81 300	Zn	132	Sm	6,5	I	0,3
Fe	50 000	Ni	80	Gd	6,4	Bi	0,2
Ca	36 300	Cu	70	Pr	5,5	Pu	0,2
Na	28 300	W	69	Sc	5	Cd	0,15
K	25 900	Li	65	As	5	Ag	0,1
Mg	20 900	N	46	Hf	4,5	In	0,1
Ti	4 400	Ce	46	Dy	4,5	Se	0,09
H	1 100	Sn	40	U	4	Ar	0,04
P	1 180	Y	28	B	3	Pd	0,01
Mn	1 000	Nd	24	Yb	2,7	Pt	0,005
S	520	Nb	24	Er	2,5	Au	0,005
C	320	Co	23	Ta	2,1	He	0,003
Cl	314	La	18	Br	1,6	Te	0,002
Rb	310	Pb	16	Ho	1,2	Rh	0,001
F	300	Ga	15	Eu	1,1	Re	0,001
Sr	300	Mo	15	Sb	1 (?)	Ir	0,001
Ba	250	Th	12	Tb	0,9	Os	0,001 (?)
Zr	220	Cs	7	Lu	0,8	Ru	0,001 (?)

^a Содержание Ne, Kr, Xe, Ra и короткоживущих радиоактивных элементов, присутствующих в количествах меньше 0,001 г/т, не указано.

* Комиссия по атомной энергии США.— Прим. ред.

Подобное расположение элементов позволяет выявить много интересных фактов. Так, на долю первых восьми элементов — кислорода, кремния, алюминия, железа, кальция, натрия, калия и магния — приходится около 99% веса земной коры, но из них только кислород широко распространен в свободном состоянии и только железо (в виде чугуна и стали) применяется главным образом в элементарной форме. Однако все большее распространение в промышленности находят алюминий, значительно расширяются и области применения магния. Интересно отметить, что масштабы существующего производства стали, алюминия и магния в США округленно выражаются соотношением 3000 : 50 : 1. Натрия выпускают значительно больше, чем магния, но применяется он чаще как химический восстановитель, а не как металл. Налажено также производство технического кальция, но в сравнительно небольших масштабах.

Сера и углерод — два самых распространенных элемента из встречающихся в природе и применяемых в элементарной форме — занимают в таблице соответственно 13-е и 14-е места, а стоящий вслед за ними хлор по тоннажу производства и использованию в свободном состоянии уступает только железу.

Таким образом, из первых пятнадцати элементов в таблице распространенности только кислород, сера и углерод встречаются в природе и широко применяются в самородном состоянии. Следовательно, железо, хлор, алюминий, натрий и магний — вот главные элементы, для применения которых требуется их восстановление до элементарного состояния. В наш век индустрии первое место по потреблению в свободном состоянии принадлежит кислороду, даже если не учитывать расходования его на биологические цели. За ним идут углерод и железо.

Следует обратить внимание на значительное содержание в земной коре многих таких сравнительно мало потребляемых элементов, как титан, рубидий, цирконий и ванадий. И, наоборот, содержание элементов, уже давно играющих важную роль в судьбах нашей цивилизации, поражает своей незначительностью. Меди в земной коре имеется приблизительно столько же, что и вольфрама, но гораздо меньше, чем марганца, циркония и ванадия. По своей распространенности азот стоит наравне с церием, олово уступает литию, а содержание свинца и молибдена близко к содержанию галлия. Тория и урана имеется больше, чем бора, а природные запасы ванадия несколько превышают запасы цинка. Ртуть — гораздо менее распространенный в природе элемент, чем редкоземельные металлы, бериллий и тантал.

Любопытно, что рубидий, занимающий по содержанию в земной коре 16-е место среди всех элементов, стоит почти наравне с хлором, хотя этот металл и его соединения мало известны в химии и почти не встречаются в продаже.

МИРОВОЙ ОКЕАН КАК ИСТОЧНИК МЕТАЛЛОВ

Океаны, покрывающие более 70% земной поверхности, в среднем содержат в растворенном состоянии около 3,5% твердых веществ. Это ничтожная величина по сравнению с весом земной коры, но она приобретает чрезвычайную важность благодаря легкости получения веществ из этого источника. Еще более ценно то, что вещества находятся в растворе. Как известно, часто растворение твердых веществ с целью дальнейшей переработки и извлечения конечных продуктов сопряжено с затратой больших усилий и средств. Поэтому то обстоятельство, что морская вода представляет собой раствор, пусть даже разбавленный, удобно в технологическом отношении.

Таблица 2

КОНЦЕНТРАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В МОРСКОЙ ВОДЕ^а [8]

Элемент	Концентрация, г/т	Элемент	Концентрация, г/т
Cl	18 980	Cu	0,001—0,09
Na	10 561	Mn	0,001—0,01
Mg	1 272	Pb	0,004—0,005
S	884	Se	0,004
Ca	400	Sn	0,003
K	380	Cs	~0,002
Br	65	U	0,00015—0,0016
C (неоргани- ческий)	28	Mo	0,0003—0,002
Sr	13	Ga	0,0005
(SiO ₂)	0,01—7,0	Ni	0,0001—0,0005
B	4,6	Th	<0,0005
Si	0,02—4,0	Ce	0,0004
C (органиче- ский)	1,2—3,0	V	0,0003
Al	0,16—1,9	La	0,0003
F	1,4	Y	0,0003
N (в виде нит- ратов)	0,001—0,70	Hg	0,0003
N (органиче- ский)	0,03—0,2	Ag	0,00015—0,0003
Rb	0,2	Bi	0,0002
Li	0,1	Co	0,0001
P (в виде фос- фатов)	>0,001—0,10	Sc	0,00004
Ba	0,05	Au	4·10 ⁻⁸ —8·10 ⁻⁶
I	0,05	Fe (в истин- ном раство- ре)	<10 ⁻⁹
N (в виде нит- ритов)	0,0001—0,05	Ra	2·10 ⁻¹¹ —3·10 ⁻¹⁰
N (в виде ам- миака)	>0,005—0,05	Ge	Присутствует
As (в виде ар- сенитов)	0,003—0,024	Ti	»
Fe	0,002—0,02	W	»
P (органиче- ский)	0—0,016	Cd	Присутствует в морских организмах
Zn	0,005—0,014	Cr	То же
		Pt	» »
		Sb	» »
		Zr	» »
		Pb	» »

^а Концентрация растворенных газов не указана.

В морской воде содержится около 50 элементов, причем источником других элементов, обнаруженных в морских организмах, также, несомненно, является морская вода. В табл. 2 приводятся концентрации различных элементов в морской воде по данным Свердруп, Джонсона и Флеминга [8]. Соотношения концентраций весьма постоянны по всему земному шару, что объясняется однородностью состава воды океанов. Для многих элементов указаны интервалы концентрации в зависимости от местных условий и биологической деятельности, неодинаковых на различной глубине.

По своей концентрации в морской воде (вода океанов и прочие массы воды, образующие гидросферу) элементы по ряду причин располагаются совершенно в другом порядке, чем в табл. 1, где указано их содержание в земной коре. Соотношение растворимостей элементов в воде иное, чем в силикатных системах, которые представляют собой главную составную часть земной коры. Поэтому концентрации ионов, переходящих в морскую воду в процессе естественного выщелачивания, сильно отличаются от их концентраций в земной коре. Кроме того, процессы взаимодействия, происходящие в растворе, и длящееся веками избирательное извлечение определенных элементов различными морскими организмами также приводят к изменению содержания многих из них в морской воде. Естественная адсорбция и ионный обмен способствуют извлечению и замещению ряда элементов. По Гольдшмидту [6, стр. 173], малая величина концентраций таких токсичных элементов, как мышьяк и селен, обусловлена адсорбцией их на свежеосажденной гидроокиси железа. Многие редкие элементы встречаются в отложениях на дне океанов, что доказано их присутствием в разрабатываемых теперь отложениях древних морей.

Океаны часто считают богатым источником химикалий, в том числе металлов. В настоящее время из морской воды рентабельно извлекают натриевые и магниевые соединения, бром и металлический магний [9]. Интересно отметить, что морская вода, содержащая всего 0,13% магния, используется как исходное сырье для получения этого металла, хотя существуют огромные месторождения руд с содержанием не ниже 30% магния. Это только один из примеров того, как в промышленных масштабах предпочтение отдается естественному сырью с весьма низкой концентрацией по сравнению с более богатыми рудами. Кстати сказать, предприятия, получавшие магний из морской воды, добились в годы второй мировой войны большего снижения себестоимости продукции по сравнению с заводами, работавшими на другом сырье, и продолжали функционировать в послевоенный период, тогда как последние пришлось закрыть.

Легенда о добыче золота из морской воды, возможно, и не столь абсурдна, как это принято считать. Около 40 лет назад во Франции действительно был построен завод по извлечению золота из морской воды. В конце концов завод прогорел, хотя и был близок к тому, чтобы стать конкурентоспособным. Золото давно влечет к себе человека, но, по всей вероятности, из океанов будут все-таки извлекать не золото, а другие ценные продукты, в том числе металлы. Последние достижения в области ионного обмена, использование диализа, адсорбции и электрохимических методов делают подобное предположение еще более вероятным.

ДРУГИЕ ИСТОЧНИКИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

Не исключено, что еще более важным способом извлечения металлов из морской воды явится специальное разведение определенных морских организмов, которые в процессе биологической деятельности накапливают

один или несколько элементов. Общеизвестно, что в кораллах и устричных раковинах отлагается карбонат кальция; диатомея (кремневая водоросль) накапливает двуокись кремния, а устрицы и омары — медь. Менее известные организмы способны концентрировать другие элементы, например железо, ванадий, кобальт, цинк и марганец [1].

Некоторые морские водоросли, например ламинария, свыше столетия служат источником получения калия и иода. Известны и другие морские растения, способные накапливать те или иные элементы. Все они являются потенциальными источниками элементов, необходимых для нужд промышленности.

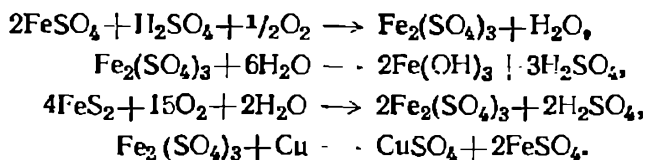
Уже давно известно, что наземные растения зачастую эффективно усваивают некоторые элементы. Примерами могут служить растения, способные накапливать селен. *Astragalus*, разновидность вики, известный также как астрагал, хорошо произрастает только на землях, содержащих селен, и создает концентрации этого ценного редкого элемента, достигающие 1,5%. Известны растения, способные накапливать германий. Наличие германия во многих сортах каменного угля объясняется подобной способностью некоторых растений, превратившихся в каменный уголь. Можно было бы назвать и другие растения, способные концентрировать марганец, бор, барий и редкоземельные металлы [2].

Следует отметить также, что способность растений накапливать определенные элементы дает возможность находить месторождения металлов на основании результатов анализа состава таких растений. Это позволяет судить о наличии залежей некоторых минералов в недрах земли. Установлено, что высокое содержание селена в растениях свидетельствует о близости месторождений урана [3].

Запасы многих редких металлов могут создаваться также в результате жизнедеятельности бактерий и других микроорганизмов в средах, содержащих малые концентрации отдельных элементов, которые таким образом отлагаются в более концентрированном виде. Самородная сера, найденная в горных породах сводов некоторых соляных куполов, по всей видимости, образовалась вследствие бактериологической переработки содержащего серу ангидрита в свободную серу. Известно, что анаэробные бактерии *Sporovibrio desulfuricans* (Beijerinck) Starkey восстанавливают сульфат до свободной серы или до сульфида. Существуют также бактерии, способные усваивать, перерабатывать и накапливать железо, марганец, кобальт и ванадий. Некоторые геологи считают, что залежи железной руды и различных руд, содержащих двуокись марганца, образовались в результате деятельности бактерий. В настоящее время нас не должна интересовать справедливость этих выводов. Важно то, что выращивание тех или иных микроорганизмов может обеспечить в будущем значительные запасы редких металлов. Использование микроорганизмов для извлечения небольших количеств многих ценных металлов из скоплений золы и шлака или, например, из бедных месторождений открывает перед учеными и инженерами новые широкие горизонты на пути удовлетворения неуклонно растущего спроса на металлы в условиях выработки и истощения разведанных месторождений.

Уже теперь одной из самых крупных компаний по производству меди начато извлечение в большом масштабе меди из рудничных отвалов методом, основанным на жизнедеятельности бактерий [10]. Встречающийся в природе вид *Thiobacillus ferrooxidans*, который в процессе жизнедеятельности концентрирует 1,7% цинка (первоначальное содержание не больше 0,015%), 1,2% меди, 0,63% алюминия, 0,5% кальция, 0,24% магния, 0,33% марганца и 0,01% молибдена, используется для окисления двухвалентного железа

в выщелачивающем растворе до трехвалентного. Трехвалентное железо, в свою очередь, окисляет медь до двухвалентного состояния и создает концентрацию меди в выщелачивающем растворе, доступную для ее извлечения. Эти бактерии являются автотрофными*, и для их роста необходимы лишь кислород и углекислый газ, а не органические вещества. Культура бактерий устойчива в серной кислоте, живет в ней и лучше всего развивается при 15—40° и pH 1,5—2,5. В присутствии микроорганизмов протекают следующие реакции:



КОНЦЕНТРАЦИЯ МЕТАЛЛОВ В ПРИРОДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Одной из причин большого несоответствия между распространенностью в природе и технической доступностью металлов во многих случаях является их концентрация в минералах, рудах и других видах промышленного сырья.

Почти все давно известные и используемые человеком металлы — железо, цинк, медь, олово, свинец, ртуть и серебро — находятся в земной коре в виде легко распознаваемых минералов с довольно высоким содержанием металла. Это обстоятельство вместе с простотой вскрытия таких минералов объясняет, почему перечисленные металлы давно поставлены человеком себе на службу. Наоборот, многие из более распространенных в природе металлов входят в состав обычных минералов в незначительных количествах и почти никогда не встречаются в сколько-нибудь заметной концентрации. Примерами такого рода служат рубидий и галлий. Рубидий не образует собственных минералов; он всегда сопутствует калиевым минералам, а галлий — в основном алюминиевым минералам. Цирконий образует собственные минералы, главным образом циркон, но они сильно рассеяны в самых обычных горных породах [6, стр. 42].

От руды промышленного значения требуется, чтобы концентрация нужного металла в ней делала извлечение его технически осуществимым и экономически целесообразным. Подобная минимальная концентрация бывает различной в зависимости от химических и физических свойств металлов и их соединений, поскольку эти свойства определяют способ извлечения их из руд. Так, для меди минимальная концентрация может быть не больше 1%, для магния допустима концентрация 0,13% (как, например, в морской воде), а для алюминия и железа концентрация металла должна быть выше 30%. Развитие технологии и изменение экономических требований непрерывно меняют уровень минимальных концентраций металлов в руде и других исходных материалах, идущих для промышленного производства. Нагляднее всего это можно показать на примере меди: отходы от ее производства, которые раньше выбрасывались за ненадобностью, сейчас перерабатываются заново, поскольку технологические достижения позволяют извлекать медь при меньшем ее содержании в исходном сырье.

Главным источником получения многих металлов, рассматриваемых в настоящем справочнике, служат отходы производств при извлечении

* Организмы, продуцирующие органические вещества из неорганических. — Прим. персв.