

РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ И ИХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Т. Ю. УСОВА

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, Москва

RARE METALS AND DEPOSITS THEREOF

T. Yu. USOVA

The rare metals have been put into production relatively recently, however their use is developing steadily, especially in the high-tech areas. The rare metals are recovered either from their own mineral deposits, or as by-products from other ore types. As the raw resources of rare metals were developed, the types of deposits thereof were changing from sparse and small to large and gigantic ones, each of which can provide for a modern output level for hundreds of years.

Редкие металлы были освоены промышленностью относительно недавно, но их использование активно развивается, особенно в сфере высоких технологий. Редкие металлы добываются как из месторождений их собственных минералов, так и попутно при разработке других видов полезных ископаемых. По мере освоения сырьевых ресурсов редких металлов типы их месторождений менялись от редких и небольших объектов к крупным и гигантским месторождениям, каждое из которых способно обеспечить современный уровень добычи в течение сотен лет.

www.issep.rssi.ru

ЧТО ТАКОЕ РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ

Геологи к редким металлам обычно относят 36 химических элементов Периодической системы Д.И. Менделеева (рис. 1), которые стали широко осваиваться промышленностью только в 50–60-х годах XX века, после второй мировой войны, хотя для некоторых из них области ограниченного применения были известны и раньше. Многие из этих металлов открыты только в конце XVIII века, а рений, галлий, гафний, германий, скандий обнаружены по предсказанию Д.И. Менделеева уже после создания им Периодической системы, причем гафний и рений открыты соответственно только в 1923 и 1925 годах.

В отличие от черных, цветных и благородных металлов, известных человечеству на протяжении тысячелетий, природные образования редких металлов, как минералы, так и месторождения, были изучены в основном в XX веке и сначала представлялись экзотическими, исключительными объектами. Отсюда возник термин “редкие металлы”, хотя по современным представлениям это понятие весьма условно. Здесь больше даны исторической традиции, чем физико-химическим критериям или малой распространенности в природе.

Большинство исследователей склоняются к тому, что эту группу объединяет в основном новизна практического применения в промышленных масштабах. Другие критерии – незначительное содержание редких металлов в земной коре, относительная редкость их промышленных минералов и месторождений, трудность выделения металлов в технологическом процессе, объем использования – теряют свою универсальность по мере изучения и освоения редких металлов, оставаясь справедливыми только для некоторых из них. Таким образом, термин “редкие металлы” постепенно утрачивает свое точное смысловое значение, но, как это часто бывает, продолжает широко использоваться специалистами.

Как правило, редкие металлы – это материалы высоких технологий. С использованием лития созданы миниатюрные и емкие перезаряжаемые батареи, ниобия – сверхпроводниковые материалы с самой высо-

I	II	III	IV	V	VI	VII
Li литий	Be бериллий	B	C	N	O	F
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
K	Ca	Sc скандий	Ti	V ванадий	Cr	Mn
Cu	Zn	Ga галлий	Ge германий	As	Se селен	Br
Rb рубидий	Sr стронций	Y иттрий	Zr цирконий	Nb ниобий	Mo	Br
Ag	Cd кадмий	In индий	Sn	Sb	Te теллур	I
Cs цезий	Ba	La* лантан	Hf гафний	Ta тантал	W	Re рений
Au	Hg	Tl таллий	Pb	Bi висмут	Po	At

*Лантаноиды Ln.

Ce церий	Pr празеодим	Nd неодим	Pm прометий	Sm самарий	Eu европий	Gd гадолиний
Tb тербиц	Dy диспрозий	Ho гольмий	Er эрбий	Tm тулий	Yb иттербий	Lu лютеций

Рис. 1. Химические элементы, которые называют редкими, в Периодической системе Д.И. Менделеева

кой критической плотностью тока, тантала — миниатюрные и емкие конденсаторы, бериллия, лития и скандия — легкие сплавы, ниобия, рения и гафния — жаропрочные и коррозионностойкие сплавы, неодима и самария — мощные и миниатюрные постоянные магниты, галлия и индия — надежные полупроводниковые устройства, германия — высококачественные приборы ночного видения и волоконной оптики. Современные исследования открывают все новые свойства редких металлов и новые возможности их практического использования. Если в начале их освоения промышленностью главной его сферой была оборонная техника, то сейчас многие редкие металлы применяют в производстве самых обычных потребительских товаров: упаковочной тары (Ge, Li), сантехнических изделий и кафеля (Zr), батареек для электронных приборов (Ta, Li, La, Cd). По темпам роста производства и потребления редкие обгоняют все другие промышленные металлы, а в некоторых быстро развивающихся областях спрос на них увеличивается на 15–25% в год. Степень промышленного использования в большой мере зависит от стоимости редких металлов, диапазон цен на которые очень велик — от близких к свинцу и цинку для кадмия до приближающихся к золоту и металлам платиновой группы для лютеция и скандия.

Мировое потребление отдельных редких металлов также неодинаково — от сотен килограммов для рубидия до сотен тысяч тонн для циркония (рис. 2).

По сути дела, каждый редкий элемент индивидуален, но в то же время можно выделить группы элементов, родственных по многим свойствам и обычно вме-

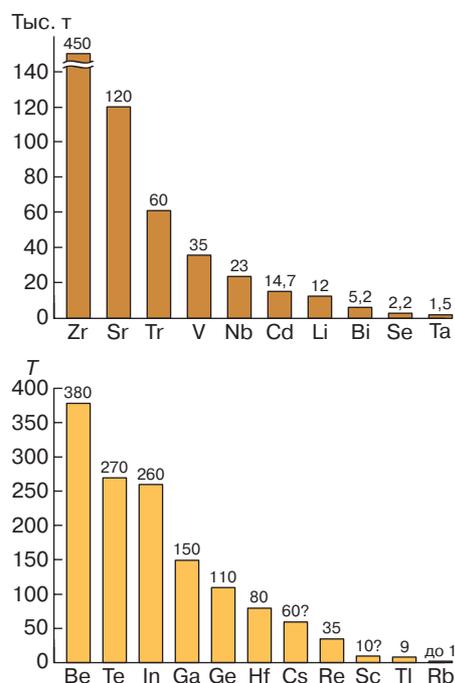


Рис. 2. Современное мировое потребление редких металлов

сте встречающихся в природе: Nb и Ta, Rb и Cs, Zr и Hf, Se и Te. Весьма близкими свойствами обладают и редкоземельные металлы (лантаноиды и иттрий), которые всегда встречаются совместно, но в меняющихся соотношениях.

ПРОМЫШЛЕННОЕ СЫРЬЕ

Месторождения редких металлов можно разделить на две группы. На одних месторождениях редкие металлы (Li, Cs, Be, Nb, Ta, TR, Zr, Sr) заключены в собственных минералах. Известно большое число редкометаллических минералов, но промышленные скопления образуют лишь немногие из них (табл. 1). В одном и том же месторождении обычно встречаются вместе несколько редкометаллических минералов. Исключением являются лишь стронциевые месторождения, которые не содержат других редкометаллических минералов, кроме целестина (см. табл. 1).

Вторая группа месторождений – это те, где редкие металлы извлекают попутно при переработке других полезных ископаемых. Сырьевыми источниками редких металлов попутной добычи являются руды цветных металлов – меди, молибдена, свинца, цинка, олова, алюминия. Из таких руд извлекают Bi, Ge, Ga, In, Re, Se, Te, Tl, Cd. Германий извлекают также из бурых уг-

лей, гафний и рубидий – при переработке редкометаллических руд, ванадий – из руд железа и титана. Эти химические элементы часто называют рассеянными. Их минералы чрезвычайно редки и не образуют промышленных скоплений. Единственным исключением является висмут, для которого известны редкие собственные месторождения, которые пока не разрабатываются.

Многие месторождения редких металлов образуются в результате глубинной магматической деятельности. Их преобразование в верхних частях земной коры под влиянием физического и химического выветривания (разрушения) нередко приводит к концентрированию редкометаллических минералов, многие из которых весьма устойчивы. Для отдельных металлов (Sr, Zr, Li) известны крупные осадочные месторождения, которые образуются вблизи земной поверхности.

По мере освоения сырьевых ресурсов редких металлов типы месторождений, играющие ведущую роль в структуре их запасов и добычи, изменялись. Минералы многих редких металлов (Li, Cs, Be, Nb, Ta) были открыты в пегматитах или россыпях (Nb, Ta, TR, Zr). Начиная с середины 50-х годов XX века ведущая роль в добыче ниобия и РЗЭ переходит к карбонатитам и корам их выветривания, а с 80-х годов большое место в структуре запасов тантала и РЗЭ иттриевой группы занимают щелочные граниты. Геологическое строение и

Таблица 1. Главные промышленные минералы редкометаллических месторождений

Элемент	Промышленный минерал	Химическая формула	Оксиды редких металлов	Содержание, %
Li	Сподумен	$\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$	Li_2O	5,8–7,6
	Лепидолит	$\text{K}_2\text{Li}_3\text{Al}_5\text{Si}_6\text{O}_{20}(\text{FOH})_4$	Li_2O	3,4–4,1
	Петалит	$\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$	Li_2O	3,2–4,5
Cs	Поллуцит	$\text{CsAlSi}_{12}\text{O}_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Cs_2O	До 30
Be	Берилл	$\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$	BeO	10–14
	Берtrandит	$\text{Be}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2$	BeO	40–43
Nb	Пироксид	$\text{NaCaNb}_2\text{O}_6\text{F}$	Nb_2O_5	40–71
			Ta_2O_5	0,2–10
	Колумбит	FeTa_2O_6	Nb_2O_5	40–76
Ta	Танталит	FeTa_2O_6	Ta_2O_5	1–40
			Ta_2O_5	40–81
	Лопарит (Россия)	$\text{NaCe}(\text{Ti}, \text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6$	Nb_2O_5	7–40
			Ta_2O_5	0,6
			Nb_2O_5	6–8
TR (Ln + Y)	Бастнезит	$(\text{Ce}, \text{La})\text{CO}_3(\text{F}, \text{OH})$	TR_2O_3	33–35
			TR_2O_3	75
			TR_2O_3	70
			TR_2O_3	61
Zr	Циркон	ZrSiO_4	ZrO_2	53–68
			ZrO_2	95–98
Sr	Целестин	SrSO_4	SrO	40–50

характеристики этих главных типов редкометалльных месторождений существенно различаются.

РЕДКОМЕТАЛЬНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Редкометалльные пегматиты – крупнокристаллические породы, состоящие в основном из кварца и полевого шпата и богатые минералами, содержащими летучие вещества (воду, фтор, бор, хлор). Они образованы в результате медленной кристаллизации гранитных расплавов в изолированных полостях. Возраст наиболее крупных пегматитовых месторождений превышает 2 млрд лет.

Пегматиты залегают в виде гнезд, жил и линз, достигающих многих сотен метров, а иногда нескольких километров в длину при толщине до 100 м. Наиболее крупные, издавна разрабатываемые пегматитовые месторождения – Берник-Лейк в Канаде, Бикита в Зимбабве, Карибиб в Намибии, Гринбушес в Австралии, Коктогай в Китае. Выделяют несколько минеральных типов пегматитов, которые различаются набором редкометалльных минералов. В некоторых из них ведущее значение имеют литиевые и танталовые минералы, в других – минералы бериллия, например берилл. Наибольшим разнообразием полезных компонентов обладают сподуменовые пегматиты с лепидолитом, поллуцитом, танталитом и бериллом (см. табл. 1).

Для редкометалльных пегматитов характерно зональное строение с обособленными скоплениями поллуцита, лепидолита, сподумена, берилла (рис. 3). Благодаря зональности и крупным размерам кристаллов (берилл – до 2 м, сподумен – до 10 м в длину) пегматитовые жилы разрабатывают вручную.

Пегматитовые месторождения обычно имеют небольшие запасы: тысячи тонн тантала, ниобия, бериллия, рубидия, десятки тысяч тонн цезия, сотни тысяч тонн лития. Тем не менее до начала 60-годов именно в них были сосредоточены 100% запасов лития, бериллия, цезия и рубидия, 95% тантала, 25% ниобия, и именно эти месторождения служили главным объектом добычи этих металлов. Для цезия и рубидия пегматиты и сейчас остаются единственным сырьевым источником, имеющим промышленное значение.

РОССЫПИ

Редкометалльные минералы, устойчивые к химическому и физическому выветриванию, накапливаются в россыпях. Минералы группы танталита – колумбита концентрируются в россыпях ближнего сноса, коренным источником которых могут быть редкометалльные граниты и пегматиты. Запасы таких россыпей обычно невелики, но в Африке они обрабатываются в основном дешевым старательским способом. До 1960 года главным поставщиком ниобиевых (колумбитовых)

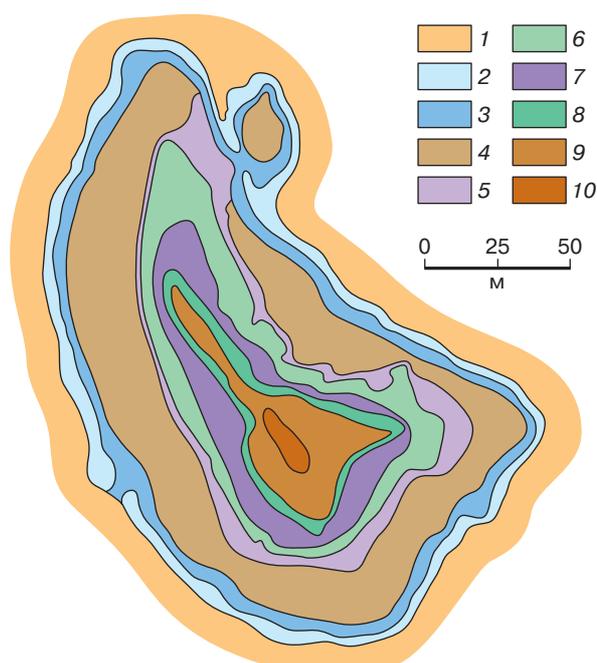


Рис. 3. Геологическая схема пегматитового месторождения Коктогай, КНР, по Н.А. Солодову: 1 – вмещающие породы; 2–10 – зоны пегматита (от края к центру): 2 – мелкозернистая кварц-микроклиновая, 3 – мелкозернистого альбита с бериллом, 4 – блокового микроклина первой генерации, 5 – кварц-мусковитовая с бериллом и танталит-колумбитом, 6 – альбит-сподуменовая с танталитом и бериллом, 7 – кварц-сподуменовая с танталитом, 8 – мелкопластинчатого альбита с танталатами, 9 – блокового кварца, 10 – блокового микроклина второй генерации. Микроклин и альбит – натриевый и калиевый полевые шпаты, соответственно $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ и KAlSi_3O_8 , мусковит – светлая калиевая слюда $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$. Химический состав редкометалльных минералов указан в табл. 1

концентратов была Нигерия, где на плато Джос разрабатывались выветрелые граниты и россыпи в рыхлых отложениях, намытых реками. В настоящее время, когда на мировом рынке ощущается острая нехватка тантала, его старательская добыча из россыпей и кор выветривания активизировалась во многих странах Африки – Конго, Нигерии, Бурунди, Руанде.

Тяжелые минералы циркония и РЗЭ (циркон и монацит) концентрируются в крупных пластообразных прибрежно-морских россыпях, главными полезными минералами которых являются ильменит (FeTiO_3) и рутил (TiO_2), служащие сырьем для производства титана. Несмотря на относительно низкое содержание тяжелых минералов (обычно 5–15% в кварцевых песках), россыпи выгодно обрабатываются сравнительно простыми и дешевыми способами. Из прибрежно-морских

россыпей и по сей день извлекают 100% добываемого в зарубежных странах циркона, а также некоторое количество монацита.

КАРБОНАТИТЫ И КОРЫ ИХ ВЫВЕТРИВАНИЯ

Карбонатиты – продукты кристаллизации глубинных карбонатных расплавов (магм). Месторождения карбонатитов и их кор выветривания (Nb), а также коренных карбонатитовых месторождений (La, Ce, Pr, Nd) были открыты и разведаны уже после второй мировой войны, когда интерес к использованию редких металлов начал стремительно расти. По сравнению с пегматитами и россыпями это были богатые и очень крупные месторождения, два из которых были быстро освоены промышленностью и стали основными источниками ниобиевого и редкоземельного сырья в мире: Араша в Бразилии и Маунтин-Пасс в США. Запасы полезных компонентов в них измерялись уже несколькими миллионами тонн при содержании в первом из них 2,5% Nb₂O₅ (в коре выветривания), во втором 7–8% TR₂O₃.

Щелочные интрузивные комплексы, включающие карбонатиты, залегают среди древних пород, возраст которых на сотни миллионов лет превышает возраст самих месторождений: мезозойский (120–90 млн лет) и палеозойский (550–250 млн лет) для пироксеновых карбонатитов и позднепротерозойский (~1400 млн лет) для бастнезитовых. К настоящему времени на земном шаре известно около 20 месторождений пироксеновых карбонатитов и их кор выветривания. Из коренных карбонатитовых месторождений, в которых содержание пироксена в руде обычно не более 1–1,5%, разрабатывается только месторождение Сент-Оноре в Канаде (0,9% Nb₂O₅ в руде). В корях выветривания карбонатитов концентрация пироксена увеличивается в несколько раз, поскольку породообразующие минералы кальция и магния при выветривании растворяются и выносятся. Вертикальная протяженность кор выветривания в тропических странах достигает сотен метров, а занимаемая ими площадь – нескольких десятков квадратных километров. Только одно месторождение Араша в Бразилии способно обеспечивать современный уровень производства и потребления ниобия в течение 500 лет, а в мире известны еще более крупные и богатые месторождения этого типа.

Уникальное по богатству руд Томторское месторождение (рис. 4), недавно разведенное на севере Якутии, на отдельных участках содержит руды с 6–8% Nb₂O₅ и 12% TR₂O₃. По запасам пироксеновых руд держит первенство месторождение Сейс-Лагос в Бразилии, ресурсы Nb₂O₅ в котором определены в 80 млн т при его содержании 2,5%.

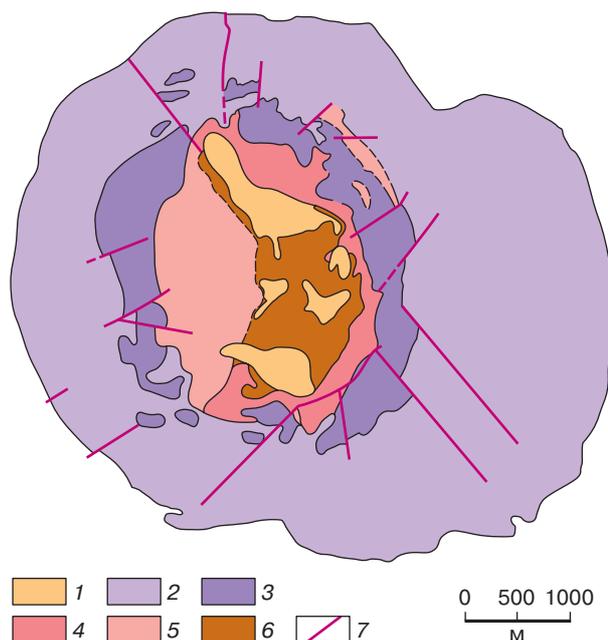


Рис. 4. Геологическая схема массива Томтор по А.В. Лапину и А.В. Толстову, с упрощениями: 1 – перекрывающие осадочные породы: песчаники, угли, конгломераты; 2–5 – магматические породы: 2 – сиениты, состоящие из щелочных полевых шпатов и нефелина, 3 – карбонатизированные бесполовошпатовые породы, состоящие в основном из пироксенов, 4 – поздние карбонатиты (доломит-анкеритовые, кальцит-анкеритовые), 5 – ранние карбонатиты (доломит-кальцитовые и кальцитовые), 6 – рудонесные коры выветривания карбонатитов с пироксеном и монацитом; 7 – разрывные нарушения. Нефелин (Na, K)AlSiO₄, пироксены (Ca, Na)(Mg, Fe, Al)Si₂O₆, доломит CaMg(CO₃)₂, анкерит Ca(Fe, Mg)(CO₃)₂; кальцит CaCO₃. Химический состав редкоземельных минералов указан в табл. 1

Среди бастнезитовых (редкоземельных) карбонатитов теперь также известны гигантские по запасам и очень богатые месторождения. В Китае в начале 80-х годов XX века освоено коренное карбонатитовое месторождение Баюнь Обо, запасы в котором составляют 36 млн т TR₂O₃ при содержании 5–6 %, а прогнозные ресурсы – около 100 млн т. Самое богатое по содержанию полезного компонента в руде редкометальное месторождение Маунт-Уэлд было в 80-х годах разведано в Австралии. Богатые участки коры выветривания карбонатитов содержат 23,6% TR₂O₃ в расчете на 1 млн т их запасов, а при содержании 16,7% TR₂O₃ запасы увеличиваются до нескольких миллионов тонн. На месторождении Маунт-Уэлд известны также зоны с высокой концентрацией тантала (0,034% Ta₂O₅) и ниобия (0,9% Nb₂O₅). В настоящее время месторождение подготавливается к освоению.

В России редкие металлы добывают в бедном по содержанию, но крупном по запасам нескольких металлов Ловозерском месторождении лопарита (см. табл. 1), открытом в 1934 году. Оно расположено на Кольском полуострове и связано с крупным массивом нефелиновых сиенитов — магматических пород, в основном состоящих из алюмосиликатов Na и K. Такие массивы на Земле исключительно редки. Возраст Ловозерского массива — 300 млн лет. Ловозерское месторождение — главный в России промышленный источник многих видов редких металлов: тантала, ниобия и редкоземельных элементов (лантана, церия, празеодима, неодима, самария, европия и гадолиния).

РЕДКОМЕТАЛЬНЫЕ ЩЕЛОЧНЫЕ ГРАНИТЫ

Крупные комплексные редкометальные месторождения в гранитах, обогащенных щелочными металлами, были обнаружены в 50-х годах XX века в России, где разведаны два месторождения: Улуг-Танзекское в Туве и Катугинское в Читинской области. В середине 80-х годов, когда резко возрос интерес к иттрию в связи с открытием высокотемпературной сверхпроводимости в иттрийсодержащей керамике, подобные месторождения были открыты сразу в нескольких странах мира: Канаде, Саудовской Аравии, Австралии и Бразилии.

Однако до сих пор в мире обнаружено не более 10 щелочногранитных месторождений, и выводы об их образовании и размещении остаются предварительными. Известные крупные месторождения (Тор Лейк и Стрейндж Лейк в Канаде, Питинга в Бразилии, Брокмен в Австралии) имеют обычно протерозойский возраст (древнее 1 млрд лет) и так же, как и редкометальные месторождения других типов, расположены на выступах фундамента древних платформ, тяготея к зонам пересечения глобальных тектонических структур.

В плане они, как правило, имеют округлую или овальную форму с поперечником от 1 до 5–6 км, а на глубину оруденение распространяется на сотни метров. Щелочногранитные месторождения характеризуются постоянным набором полезных компонентов и относительно устойчивым их содержанием: 0,02–0,04% Ta_2O_5 , 0,3–0,4% Nb_2O_5 , 0,5–1,3% ZrO_2 и 0,2% TR_2O_3 . Тантал и ниобий в соотношении 1 : 10 концентрируются в пироклоре и колумбите, цирконий — в цирконе (см. табл. 1). Редкоземельные минералы весьма разнообразны, но среди них важную роль играют минералы с большой долей иттрия и лантаноидов иттриевой группы (ксенотим, гагаринит).

Редкометальные щелочные граниты — это самые крупные по запасам месторождения тантала и иттриевых РЗЭ, а также крупнейшие коренные месторождения циркония. В некоторых месторождениях помимо

редкометальных минералов содержатся касситерит SnO_2 (месторождение Питинга в Бразилии) или криолит $Na_3[AlF_6]$ (Катугинское в России), которые также могут добываться из руд.

До настоящего времени редкометальные месторождения в щелочных гранитах не разрабатывались. Планы их освоения активно обсуждались в конце 80-х годов, но были заморожены по тем или иным причинам. Наиболее реальный объект ближайшего освоения — коренные руды месторождения Питинга в Бразилии, которое, согласно результатам недавней разведки, является самым крупным месторождением тантала в мире с запасами 60 тыс. т Ta_2O_5 . Компания “Паранапанема” планировала вложить в освоение месторождения 140 млн долларов. Предусматривается производство 500 т Ta_2O_5 , что соответствует трети его современного мирового потребления, а также 4000 т Nb_2O_5 . Реализация этого проекта в значительной мере изменит структуру добычи танталового сырья, в которой на протяжении всей ее истории преобладающую роль играли пегматиты.

В добыче бериллиевого и литиевого сырья пегматиты в значительной степени также уступили место другим типам крупных месторождений. Бериллий с 1969 года добывается в США из руд месторождения Спер Маунтин, связанного с вулканическими породами. В настоящее время доля этого месторождения в мировой добыче бериллия составляет около 70%. Добыча карбоната лития теперь на 60% осуществляется попутно при разработке гигантских месторождений рапы соляных озер в Чили и Аргентине, ресурсы лития в которых составляют по нескольку миллионов тонн. Хотя содержание лития в этом виде сырья невысокое, простая и дешевая технология его извлечения позволила снизить цену на карбонат лития почти в 4 раза.

Таким образом, изменение структуры сырьевой базы и добычи редкометального сырья шло в направлении от мелких к крупным и очень крупным месторождениям, которые теперь играют ведущую роль в структуре мировой добычи редкометального сырья (рис. 5). Существенно возрос и другой главный критерий оценки качества месторождений — содержание полезных компонентов в руде. Среди редкометальных месторождений уже имеются объекты, которые по этому показателю приближаются к разрабатываемым рудам не только цветных, но и черных металлов (табл. 2). Важное значение продолжают сохранять россыпи, в которых главным остается не содержание редкометальных минералов, а простота и экономичность их извлечения.

По современному и прогнозируемому уровню потребления мировая промышленность обеспечена запасами и ресурсами многих редких металлов на сотни лет. Относительный дефицит сырья может ощущаться

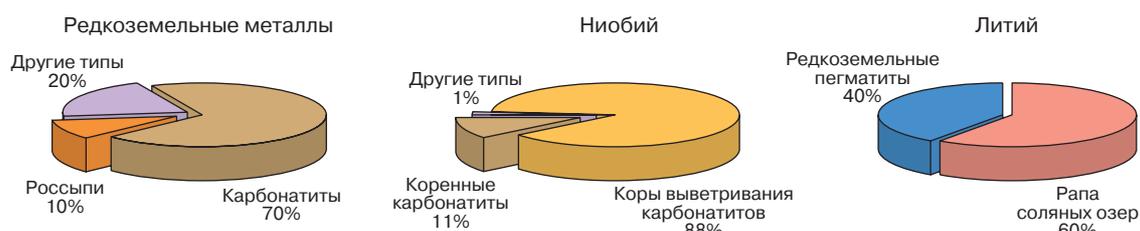


Рис. 5. Роль промышленных типов редкометальных месторождений в добыче редких металлов в 1999 году

Таблица 2. Максимальные параметры известных месторождений основных промышленных типов¹

Металл	Пегматиты	Карбонатиты		Щелочные граниты
		коренные	коры выветривания	
Li	0,5–1,5 (100)			
Nb	0,001 (1)	0,9 (100)	6 (1000)	0,4 (100)
Ta	0,01–0,02 (1)			0,04 (10)
TR _{Ce} ²	–	8,8 (1000)	23,6 (1000)	
TR _Y ³	–	–	0,4 (100)	0,66 (100)

¹ Содержание (в %) оксидов, в скобках – запасы оксидов в тыс. т. Выделены жирным шрифтом ведущие типы месторождений в современных сырьевых ресурсах.

² РЗЭ цериевой группы, наиболее распространенные в сырье.

³ РЗЭ иттриевой группы, наименее распространенные в сырье.

только для некоторых металлов попутной добычи, в первую очередь Re, Ge, In, в том случае, если их потребление будет столь же стремительно развиваться, как это было в 90-е годы XX века, а темпы роста производства основных металлов не будут этому соответствовать. Однако практика предшествующих лет показывает, что как только промышленность начинает испытывать нужду в каком-либо металле, проблема решается чаще не заменой его в той или иной области применения, а путем открытия новых месторождений или нетрадиционных источников сырья.

Острая нехватка германия на рынке в середине 90-х годов, сопровождаемая 5–6-кратным ростом цен, привела к открытию его новых месторождений в Китае, Японии, Канаде и других странах мира. Еще более яркий пример – рений. Сейчас исследуется возможность получения рения из фумарольных газов действующего вулкана Кудрявый на о-ве Итуруп, поскольку на фоне быстрого роста спроса возможности традиционного источника – молибденовых концентратов, получаемых на месторождениях меди и молибдена, – оказались ограниченными.

Новые типы редкометальных месторождений и новые объекты открыты сравнительно недавно, и геоло-

гам еще предстоит изучить закономерности их формирования и размещения с тем, чтобы преумножить эти открытия, в том числе и на территории России.

В настоящее время сырьевые ресурсы в недрах планеты для большинства редких металлов можно признать безграничными в сравнении с уровнем их современного использования. И если согласиться с мнением, что природа ничего не создает зря, мир редких металлов ожидает большое будущее, а быстрый рост их потребления за последние десятилетия служит тому подтверждением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коган Б.И. Редкие металлы: Состояние и перспективы. М.: Наука, 1978.
2. Лапин А.В., Толстов А.В. Месторождения кор выветривания карбонатитов. М.: Наука, 1995.
3. Месторождения литофильных редких металлов / Под ред. Л.Н. Овчинникова, Н.А.Солодова. М.: Недра, 1980.
4. Авдонин В.В., Бойцов В.Е., Григорьев В.М. и др. Месторождения металлических полезных ископаемых. М.: ЗАО "Геоинформмарк", 1998.
5. Солодов Н.А., Усова Т.Ю., Осокин Е.Д. и др. Нетрадиционные типы редкометального минерального сырья. М.: Недра, 1990.
6. Новое в развитии минерально-сырьевой базы редких металлов: Сырьевая база, производство и потребление редких металлов за рубежом. М.: ИМГРЭ, 1991.

Рецензент статьи В.С. Попов

Татьяна Юрьевна Усова, кандидат геолого-минералогических наук, зав. сектором экономических исследований Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов. Область научных интересов – геология и экономика редкометальных месторождений, конъюнктура рынка редких металлов. Автор 37 научных работ.