

РЕДКИЕ
РАССЕЯННЫЕ И
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ
ЭЛЕМЕНТЫ

И. Г. МАГАКЧЯН



ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
ԵՐԿՐԱԲԱՆԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

Հ. Գ. ՄԱՂԱՔՅԱՆ

ՀԱԶՎԱԳՅՈՒՏ, ՅՐՎԱԾ
ԵՎ
ՀԱԶՎԱԳՅՈՒՏՀՈՂԱՅԻՆ ԷԼԵՄԵՆՏՆԵՐ

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԱ ՀՐԱՏԱՐԱԿԶՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆ 1971

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

И. Г. МАГАКЬЯН

РЕДКИЕ, РАССЕЯННЫЕ
И
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

52

ИЗДАТЕЛЬСТВО АН АРМЯНСКОЙ ССР
ЕРЕВАН 1971



В книге в сжатой форме дается описание областей применения, геохимии и минералогии, условий образования промышленных концентраций редких, рассеянных и редкоземельных элементов, включающих: тантал и ниобий, бериллий, цирконий и гафний, литий, рубидий и цезий, скандий, бор, кадмий, галлий, германий, индий, таллий, рений, селен, теллур, редкоземельные и иттрий.

В приложениях дано описание диагностики минералов, предпосылок и методов поисков отдельных элементов.

Книга может служить учебным пособием для студентов и портативным справочником по описанным элементам.

ВВЕДЕНИЕ

В основу настоящей книги положены, с одной стороны, лекции автора по курсу «Редкие и рассеянные элементы», читаемые им в Ереванском государственном университете, начиная с 1966 г., с другой—исследования закономерностей распределения редких, рассеянных и редкоземельных элементов в рудах месторождений Армянской ССР.

Широко использована вся доступная нам литература по данной проблеме и в особенности капитальный трехтомный труд коллектива ИМГРЭ АН СССР «Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов» (изд. «Наука», т. I, II, III, 1964—1966).

Редкие, рассеянные, а в самые последние годы и редкоземельные элементы находят широкое применение в современной технике и промышленности, которые уже не могут развиваться без них.

Главными отраслями применения этой группы элементов являются: специальные сплавы и керамика, оптическое стекло, твердое химическое топливо, полупроводниковая, атомная и термоядерная техника, телевидение, счетно-вычислительная техника, автоматика. Важное значение этих элементов обязывает нас изучать и создавать сырьевую базу редких элементов, для чего в свою очередь необходимо знать геохимию, минералогию, условия образования промышленных концентраций (генетические типы месторождений) этих элементов.

Наша небольшая по объему книга написана с расчетом служить учебным пособием для студентов V курсов геологических факультетов, где читается этот предмет, а также представлять краткий, портативный справочник по геохимии, минералогии и геологическим условиям образования месторождений редких, рассеянных и редкоземельных элементов.

	H ¹																
² He	³ Li	⁴ Be	⁵ B	⁶ C	⁷ N	⁸ O	⁹ F										
¹⁰ Ne	¹¹ Na	¹² Mg	¹³ Al	¹⁴ Si	¹⁵ P	¹⁶ S	¹⁷ Cl										
¹⁸ Ar	¹⁹ K	²⁰ Ca	²¹ Sc	²² Ti	²³ V	²⁴ Cr	²⁵ Mn	²⁶ Fe	²⁷ Co	²⁸ Ni	²⁹ Cu	³⁰ Zn	³¹ Ga	³² Ge	³³ As	³⁴ Se	³⁵ Br
³⁶ Kr	³⁷ Rb	³⁸ Sr	³⁹ Y	⁴⁰ Zr	⁴¹ Nb	⁴² Mo	⁴³ Ma	⁴⁴ Ru	⁴⁵ Rh	⁴⁶ Pd	⁴⁷ Ag	⁴⁸ Cd	⁴⁹ In	⁵⁰ Sn	⁵¹ Sb	⁵² Te	⁵³ I
⁵⁴ Xe	⁵⁵ Cs	⁵⁶ Ba	⁵⁷⁻⁷¹ TR	⁷² Hf	⁷³ Ta	⁷⁴ W	⁷⁵ Re	⁷⁶ Os	⁷⁷ Ir	⁷⁸ Pt	⁷⁹ Au	⁸⁰ Hg	⁸¹ Tl	⁸² Pb	⁸³ Bi	⁸⁴ Po	⁸⁵ Ab
⁸⁶ Rn	⁸⁷ Vi	⁸⁸ Ra	⁸⁹ Ac	⁹⁰ Th	⁹¹ Pa	⁹² U											

1. Литофильные элементы – полужирный шрифт
2. Халькофильные элементы – жирный шрифт
3. Сидерофильные элементы – заштрихованные клетки

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РЕДКИХ, РАССЕЯННЫХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В периодической таблице элементов Д. И. Менделеева (рис. 1) редкие элементы, общим числом более 40, подразделяются на три группы:

I. Литофильные: литий (*Li*), бериллий (*Be*), скандий (*Sc*), ванадий (*V*), рубидий (*Rb*), стронций (*Sr*), иттрий (*Y*), цирконий (*Zr*), ниобий (*Nb*), цезий (*Cs*), лантан (*La*), гафний (*Hf*), тантал (*Ta*), торий (*Th*), уран (*U*), церий (*Ce*), празеодим (*Pr*), неодим (*Nd*), прометий (*Pm*), самарий (*Sm*), европий (*Eu*), гадолиний (*Gd*), тербий (*Tb*), диспрозий (*Dy*), гольмий (*Ho*), эрбий (*Er*), тулий (*Tu*), иттербий (*Yb*), лютеций (*Lu*).

II. Халькофильные: галлий (*Ga*), германий (*Ge*), селен (*Se*), кадмий (*Cd*), индий (*In*), теллур (*Te*), рений (*Re*), таллий (*Tl*), висмут (*Bi*).

III. Сидерофильные: рутений (*Ru*), родий (*Rh*), палладий (*Pd*), осмий (*Os*), иридий (*Ir*), платина (*Pt*).

Содержание суммы редких элементов в земной коре составляет 0,126%, причем среди них, как отмечает А. П. Виноградов, наиболее распространены *Rb*, *Zr* и гр. *TR*, а наименее—*Se*, *Te*, *Cd*, *In*, *Tl*, *Re*.

Почти все редкие элементы, за исключением *Rb* и *Hf*, образуют самостоятельные минералы, хотя близость их кристаллохимических свойств с распространенными элементами приводит обычно к сильному рассеиванию редких элементов в минералах-носителях, в связи с чем месторождения собственно редких элементов встречаются в природе не часто.

В изучение геохимии и геологии месторождений редких и рассеянных элементов большой вклад внесли русские ученые—В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман, А. П. Виноградов, К. А. Власов, В. В. Щербина и другие, а из зарубежных ученых—В. М. Гольдшмидт, Г. Хевеши, В. и И. Ноддак, К. Ранкама и Т. Сахама, К. К. Турекьян и другие.

Специально вопросам разработки классификаций месторождений редких элементов посвящены работы К. А. Власова, К. Л. Бабаева, Л. С. Бородина, В. Н. Холодова, Д. П. Сердюченко и других, с учетом которых составлена предложенная нами таблица генетических типов месторождений редких элементов (табл. 1).

Таблица 1

Типы месторождений редких, рассеянных и редкоземельных элементов

Генетические группы месторождений	Рудные формации или рудоносные породы	Связь с магматическими, осадочными, метаморфическими комплексами	Главные и редкие—рассеянные элементы	Минералы—концентраторы редких—рассеянных элементов	Примеры месторождений
1	2	3	4	5	6
А. Эндогенные м-ния Собственномагматическая группа	Титаномagnetитовая	Базиты—ультрабазиты	Fe, Ti, V (гp.) Pt, Sc, Zr	Самородные $Pt, OsIr$; бадделит (ZrO_2), пироксены (Sc).	Г. Качканар, г. Таберг.
	Медно-никелевая сульфидная	Базиты	Ni, Cu , (гp.) Pt, Sc, Te	$Pt, PdPt, Pd_3Sb, PtAs_2, PtS$; Сульфиды, теллуриды	Норильск, Печенга
	Лопаритовая	Щелочные и нефелиновые сиениты	Ti (Nb, Ta, TR)	Лопарит—(Na, Ce, Ca) · (Ti, Nb) O_3	Кольский п-ов
	Эвдиалитовая	"	(Zr, Hf, Nb)	Эвдиалит—(Na, Ca) $_5$ (Zr, Fe, Mn) (Si_6O_{17})(O, OH, Cl)	Кольский п-ов
	Колумбитовая Апатитовая	Граниты Щелочные и нефелиновые сиениты	(Nb) P (TR, Zr, Hf)	Колумбит—(Fe, Mn) Nb_2O_6 Апатит, циркон, сфен	Плато Джос (Нигерия) Кольский п-ов
Пегматитовая группа	Гранитные пегматиты	Кислые глубинные граниты	($Ta, Nb, Be, Zr, Hf, Li, Cs, Rb, TR$)	Танталит-колумбит, берилл, циркон, сподумен, монацит, ксенотим, гадолинит, иногда полунит— $Cs[AlSi_2O_6]nH_2O$, амзонит, тортейит—(Sc, Y) $_2Si_2O_7$	СВ штаты Бразилии, Индия, Сибирь, Зап. Австралия, Нигерия, Конго, Мадагаскар
	Щелочные пегматиты	Щелочные сиениты и гранитоиды, нефелиновые сиениты	(Zr, Nb, Be, TR, Ta, Ga)	Циркон, бадделит, пирохлор—(Na, Ca) $_2$ · $xNb_2O_6(OH, F)$, фергусонит—(Y, Ca, U, Th) (Nb, Ta) O_4 , гадолинит— Y_2FeBe_2 · [SiO_4] $_2O_2$	Кольский п-ов, Гренландия
	Базит—ультрабазитовые пегматиты	Скаполит—пироксеновые пегматиты, связанные с базитами—ультрабазитами	(TR)	Давидит—(Fe, La, Ce, U) · (Ti, Fe) $_5O_{16}$	Мозамбик

1	2	3	4	5	6
Карбонатитовая группа	Редкометалльные карбонатиты	Щелочно-ультраосновные комплексы	(Nb, TR, Zr)	Пироксид, бастнезит— $CeCO_3F$, паризит— $Ce_2Ca(CO_3)_3F_2$, монацит, бербанки— $Na_2(Ce, Na, Ba, Sr, Ca)_4(CO_3)_5$, перовскит— $CaTiO_3$	Морро-де-Ферро, Баррейру-ди-Араша (Бразилия), Маунтин-Пасс (США), Сибирь, Луэш (Конго)
Скарновая группа	Железорудный тип	Умереннокислые гранитоиды	$Fe(Be, B)$	Гельвин, даналит— $Fe_8BeSiO_4^{16}S_2$	Железная гора (США)
	Медно-полиметаллический тип	"	$Cu, Pb, Zn (Cd, In, Ga, Ge, Tl, Be)$	Сульфиды Cu, Pb, Zn ; гельвин	Урал, Ср. Азия
	Редкометалльный тип	"	$W, Sn, Mo (Be, Sc, Re)$	Гельвин, хризоберилл, даналит	Сибирь, Зап. штаты США
Грейзеновая группа (также альбититы и фениты)	$Sn-W-Mo-Be$ грейзены	Кислые граниты	$Sn, W, Mo (Be, Ta, Nb, Bi)$	Берилл, тантало-колумбит, висмутин	М-ния Казах. ССР, Забайкалье и др.
	Альбитизированные граниты и сиениты	Граниты и сиениты	(Zr, Nb, Ta, TR, Be)	Циртолит— $ZrSiO_4$, фергусонит, пироксид, бастнезит, паризит	Укр. ССР
	Фенитизированные щелочные породы	Щелочные породы и их эв-зоконтактовые зоны	(Nb, Be, TR, Ta, Zr, Hf)	Лопарит, эвдиалит, барилит— $BaBe_2[Si_3O_7]$, эвдидимит— $NaBeSi_3O_7[OH]$	Кольский п-ов
Гидротермальная группа а) Высокотемпературная подгруппа б) Среднетемпературная подгруппа	Кварц-касситеритовая	Кислые граниты	$Sn(Ta, Nb, Sc)$	Касситерит, тантало-колумбит	Забайкалье
	Кварц-вольфрамит-молибденитовая	Кислые граниты	$W, Mo(Ta, Nb, Sc, Re)$	Тантало-колумбит, вольфрамит, молибденит	М-ния Казах. ССР
	Кварц-золото-арсенопиритовая	Умереннокислые граниты	$Au, As(Bi, Te)$	Висмутин, тетрадимит	Кочкарь, м-ния Забайкалья
	Медно-молибденовая	Умереннокислые гранитоиды	$Cu, Mo (Se, Te, Re, Ga, Ge, Cd, In)$	Халькопирит, молибденит, теллуриды, иногда акцесс. минералы германия	Каджаран, Коунрад, Бингем и др.
	Золото-сульфидная	Умереннокислые гранитоиды	$Au(Se, Te, Ga, Ge, Cd, In)$	Сульфиды Cu, Pb, Zn ; теллуриды.	Березовское, Дардсун, Материнская жила
	Полиметаллическая	Умереннокислые гранитоиды	$Pb, Zn(Se, Te, Cd, Ga, Ge, In, Tl)$	Сульфиды Pb и Zn , иногда минералы Te, Ge, Tl	М-ния Казах. ССР, Средней Азии, Забайкалья и др.

1	2	3	4	5	6
в) Низкотемпературная подгруппа	Сульфидно-касситеритовая	Умереннокислые гранитоиды	$Sn(Ge, In, Cd, Se, Te)$	Сульфиды Fe, Pb, Zn ; иногда акцесс. минералы Ge, In, Te	Эге-Хая, Хапчеранга и др.
	Стибнит-киноварь-флюоритовая	Связь с магматическими комплексами неясна	$Sb, Hg, F (Tl, Se, Te, Ga, Ge)$	Сульфиды Sb и Hg ; иногда минералы Se, Tl	Хайдаркан
Колчеданная группа	Типы: медно-серноколчеданный, медно-пиротиновый, барит-полиметаллический	Малые интрузии умереннокислых гранитоидов	$Cu, Zn, Pb (Se, Te, Cd, In, Ga, Ge, Tl)$	Сульфиды Cu, Zn, Pb, Fe ; иногда теллуриды, минералы Ge, Cd, Tl	Колчед. м-ния Урала, Закавказья, Японии, Бор и др.
Телотермальная группа	Медистых песчаников	Связь с магматизмом неясна	$Cu(Ge, Re)$	Сульфиды Cu, Zn, Pb, Fe ; иногда минералы Ge и Re (джезказганит— $Cu(Re, Mo)S_4$ или $(Pb_4 Re_3 Mo_3)S_{16}$)	Джезказган, Катанга Сев. Родезия
	Свинцово-цинковая (в карбонатных породах) Сидеритовая	"	$Pb, Zn(Ga, Ge, Cd) Fe$	Сульфиды Pb и Zn , пирит, иногда гринокит— CdS Сидерит	Миссури ЮВ, Трис-тейт, Каратау Бакал, Зигерлянд
Субвулканическая группа	Медно-турмалиновая	Интрузии и экструзии фельзитов, гранит-порфиров	$Cu(B, Re, Se, Te)$	Турмалин, халькопирит, борнит, молибденит	Браден (Чили)
	Магнесиоферритовая	Граниты	Fe	Магнетит, апатит	Ангаро-Илимская группа
Вулканогенно-осадочная группа	Оловянная (риолитовая)	Фельзиты, гранит-порфиры	$Sn(In)$	Касситерит, индит— $FeIn_2S_4$	Забайкалье
	Золото-серебряная	Фельзиты (?)	$Au, Ag (Te, Se)$	Теллуриды, иногда селениды	Белая гора, Зод, Комшток, Голдфильд
	Стибнит-киноварь-ферберитовая	Связь с магматизмом неясна	$Sb, Hg, W (Tl, Se, Te)$	Сульфиды Sb и Hg , теллуриды	Боулдер, Атолия (США), Барун-Шивинское (Забайкалье)
	Реальгар-аурипигментовая	"	$As(Tl, Se)$	Сульфиды As и Sb , лоранлит— $TlAsS_2$, вробант— $Tl(As, Sb)_3S_5$	Аллар Македония). м-ния Кавказа—Закавказья
	Кремнисто-железородная	Эксплуатации данного, порфиров	$Fe(Ge, B)$	Гематит, сидерит	Лан, Диль (ФРГ), м-ния Закавказья

1	2	3	4	5	6
Б. Экзогенные месторождения	Кремнисто-марганцевая Колчеданная	Эксталяции дацитов, порфиров	$Mn(Re, Tl)$	Окислы марганца	М-ния Турции, Закавказья и др.
	Элювиально-делювиальные россыпи	Результат разрушения коренных м-ний и пород, обогащенных минералами редких элементов	$Cu, Zn, Pb(Se, Te, Cd, Ge)$ (Zr, TR, Nb, Ta, Hf)	Сульфиды Cu, Zn, Pb Монацит, бадделит, циркон, ксенотим, тантало-колумбит, ортит, лопарит	Кавказ Нигерия (плато Джос), Бразилия (плато Калдас)
Группа месторождений выветривания	Железистые латериты и железные шпалы	Результат выветривания базитов—ультрабазитов или окисления сульфидных руд	(Cd, In, Se)	Отавит— $CdCO_3$, охры и ярозиты	ЮЗ Африка
	Глиноземистые латериты	Результат выветривания нефелиновых сиенитов, реже гранитов и трапиров	(Ga, V, Nb, Zr)	Гидраты окислов Al	Арканзас (США)
Осадочная группа	Силикатные и глинистые руды никеля	Результат выветривания ультрабазитов	$Ni(Co, V)$	Никеленосные глины, водные силикаты никеля, асболян	Урал, Куба, Нов. Каледония
	Инфильтрационные руды $Fe, Mn, Cu, U-V$	Результат отложения из метеорных вод	(Se, Ge, Cd, Re)	Сульфиды и окислы Cu, Zn, Cd , селениды, ванадаты	Колорадо, Катанга
	Аллюв. и морских россыпей	Аллювиальные и прибрежные морские россыпи—результат разрушения коренных месторождений и горных пород	(TR, Zr, Ta, Nb, Hf)	Монацит, ортит, циркон, ксенотим, тантало-колумбит, рутил	Траванкор, СВ Бразилия, Укр. ССР, В. Австралия
	Железорудная	Прибрежные конкреционные лимонитовые руды среди песчано-глинистых осадков	$Fe(V, Ge, Ga, Sc)$	Лимонит, сидерит, окислы марганца	Керчь, Лотарингия
	Марганцеворудная	Прибрежные конкреционные пиролюзит-псиломелановые руды среди кремнистых осадков	$Mn(V, Ge, Ga, Tl)$	Окислы Mn	Чиатура, Никополь
	Бокситовая	Осадки гидратов глинозема в перерывах отложения карбонатных толщ разного возраста	$Al(Ga, Nb, Zr)$	Гидраты окислов глинозема	М-ния Урала, Венгрии, Ю. Франции и др.
	$V-U-Mo$ -носных сланцев	Биохимические осадки значительных глубин	$V, U, Mo(Se, Re? Ge?)$	Сульфиды, ванадаты	М-ния США, Швеции, хр. Каратау
	Сульфидных Cu и $Pb-Zn$ руд	Биохимические осадки с тонкой вкрапленностью сульфидов	(Re, Ge, Se, Sc)	Сульфиды Cu, Pb, Zn, Mo	Мансфельд, Мёгген

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
В. Метаморфогенные месторождения	Фосфоритов	Биохимические осадки зоны шельфа	(TR, Sc, Zr, Y, Se, иногда Be)	Фосфаты	М-ния СССР, США, С. Африки
	Солей и рассолов	Химические осадки лагун и соляных озер	(Li, B, Cs, Rb)	Хлориды	Стассфурт, Сёрлз и др.
	Биолиты (угли, нефти)	Органогенные осадочные образования	(Ge, Ga, Sc, Cd, B, Se)	Угли, нефти, селениды	Угли СССР, Англии и др.; нефти Аргентины и др.
	Железорудная	Среди железистых кварцитов и роговиков докембрия	Fe (TR, B, Ge)	Магнетит, гематит	Кривой Рог, КМА, Верхнее Озеро
	Марганцеворудная	Среди метаморфических толщ н. палеозоя-докембрия	Mn (TR, B, Be)	Окислы и гидроксиды марганца	М-ния Казах. ССР, Урала, Индии, Бразилии
Метаморфизованная группа м-ний	Золото-ураноносных конгломератов	Среди конгломератов и кварцитов палеозоя-докембрия	Au, U (Zr, TR, Os, Ir)	Циркон, монацит, ксенотим, осмистый иридий и др.	Витватерсранд, Блайнд-Ривер (Канада); Жакобина (Бразилия)
Метаморфическая группа м-ний	Древние метаморфизов. коры выветривания	Результат метаморфизма древних кор выветривания	(TR, Zr, Ta, Nb)	Монацит, циркон, тантало-колумбит	Сибирь, недостаточно изучены
	Андалузит-кианит-силлиманитовые сланцы	Среди метаморфических толщ палеозоя-докембрия	Al, Si, Ti, (TR, Zr, Ta, Nb)	Монацит, циркон, рутил, пирохлор и др.	Кольский п-ов, м-ния Индии
	Парагнейсы и кристаллич. сланцы	"	(TR, B, Be, Zr)	Ортит, монацит, ксенотим, берилл; иногда циркон, фергусонит, тантало-колумбит и др.	Укр. ССР, м-ния Бразилии, Индии, Африки
	Мраморы	"	(Zr, B, Nb, Ta, TR)	Монацит, циркон, пирохлор, ортит	Сибирь

Подобно тому, как с определенными по составу горными породами связаны концентрации обычных металлов, так и для редких элементов устанавливаются связи определенных комплексов их с различными типами пород.

По данным А. П. Виноградова и других, можно выделить следующие типичные ассоциации редких элементов в:

ультраосновных породах: *Pt, Pd, Os, Ir, Rh, Ru*;
основных породах: *V, Sr, Cd, Sc*, гр. *Pt, (Se, Te)*;
гранитоидах: *Li, Rb, Y, TR, Cs, Be, Ta, Nb, Zr*;
щелочных породах: *Zr, Ga, TR, Hf, Be, Sr*;
глинах: *B, Se, Cs, Li, (Re, Ga, Ge, Sc)*;
глинисто-углистых сланцах: *U, V, Se, TR*;
песчаниках: *Sc, Y, TR, Zr, Hf, Nb, Ta, (Te)*;
медистых песчаниках: *Cd, Sc, TR, Tl, Ge, V, Se, Re*;
урансодержащих песчаниках: *U, Se, TR*;
карбонатных породах: *Sr, Ga, Be, In, TR*;
углях: *Ge, V, Mo, U, B, Li, Ga, TR, Bi*;
фосфоритах: *U, TR, B, Sr, Sc, Y, Zr, Se*;
солях: *Sr, Rb, (Se)*;
бокситов: *Ga, V, Nb, Zr, Sr, Sc*;
лимонитовых рудах: *Ge, As, V, Sc, TR*.

В основу генетической классификации месторождений редких элементов всеми авторами положено подразделение их на эндогенные (магматогенные), экзогенные и метаморфогенные, с выделением внутри этих основных типов отдельных групп, связанных с определенными комплексами интрузивных пород (для эндогенных месторождений), фациями или формациями осадочных пород (для экзогенных месторождений).

Так, в классификации, разработанной в ИМГРЭ (Л. С. Бородин, В. Н. Холодов и другие), среди эндогенных месторождений выделяются две группы:

I. Месторождения, связанные с определенными формациями интрузивных пород;

II. Месторождения с недостоверной или дискуссионной связью с определенными магматическими формациями.

Внутри первой группы выделены формации нормального ряда (связанные с ультрабазитами и базитами или с гранитоидами) и формации щелочного ряда (связанные с щелочными-ультраосновными породами, нефелиновыми сиенитами и щелочными сиенитами—гранитоидами)—итого пять формаций.

Внутри второй группы подразделение проведено по другому принципу—выделены месторождения с редкими элементами преимущественно в минеральной форме и месторождения с редкими элементами преимущественно в рассеянной форме.

Среди экзогенных месторождений выделяются: «фациальные» (генетически и пространственно связанные с определенными фациями), «формационные» и «аформационные».

Классификация метаморфогенных месторождений разработана слабо, а в целом предложенные классификации сложны и не объединены единым принципом.

Следует признать, что разработка достаточно полной и в то же время не очень сложной классификации типов месторождений редких и рассеянных элементов является задачей будущего.

ОПИСАНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

РАЗДЕЛ I

РЕДКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Сюда включены и последовательно описаны: тантал и ниобий (колумбий), бериллий (глюциний), цирконий и гафний, литий, рубидий и цезий, скандий и бор.

Для каждого элемента приводятся краткие данные по истории его открытия, применению и добыче, геохимии, минералогии и генетическим типам месторождений, список литературы. Эта же схема описания выдерживается и для последующих разделов: II—рассеянные элементы и III—редкоземельные элементы и иттрий.

Тантал и ниобий (колумбий)

Ниобий (*Nb*) открыт в 1801 г. английским химиком Гетчетом и первоначально был назван им колумбием (*Cb*); тантал (*Ta*) открыт в 1802 г. шведским химиком А. Экебергом при анализе неизвестных минералов из гранитных пегматитов месторождений Иттерби (Швеция) и Кимито (Финляндия). В 1844 г. немецкий химик Розе установил тантал и ниобий в колумбите (Ниобея в мифологии дочь царя Тантала, обреченного богами на вечные мучения—танталовы муки).

Металлический тантал в чистом виде был получен в 1903 г., а ниобий лишь в 1929 г.

Оба металла—тантал и ниобий—обладают рядом общих свойств: тугоплавки, жароустойчивы, кислотоупорны, пластичны и тверды, поглощают газы, дают сверхтвердые карбиды.

Для ниобия $d=8,6$, температура плавления 2415°C , кипения— 3300° ; для тантала $d=16,6$, температура плавления $2850\text{—}3000^{\circ}$, кипения— 5300°C . В связи с отмеченными выше свойствами тантал и ниобий широко применяются в специальных сплавах и в виде легирующих добавок к антикоррозионным и нержавеющей сталям (в самолетостроении, химическом аппаратостроении, оборудовании нефтеперегонных заводов, котлов сверхвысокого давления, паровых турбин, выхлопных систем), в реактивных двигателях, радиотехнике, радиоэлектронике. Тантал и

ниобий применяются также в производстве вооружения и хирургических инструментов, фильер и как заменители платины, а карбиды Nb и Ta (температура плавления 3800—3900°C) приближаются по твердости к алмазу.

Сплавы Nb или Ta с Pt , Re , B применяются в электродах.

Мировое ежегодное производство концентратов колумбита и танталита (по содержанию в них $Nb_2O_5 + Ta_2O_5$) в капиталистических странах достигло 4 тыс. т, из них главная часть приходится на колумбит и только 500 т на танталит.

Основными странами—поставщиками концентратов являются Нигерия (для колумбита) и Канада, Бразилия и Конго (Киншаса) для танталита.

Кларк Nb в земной коре 0,002%, Ta —0,0002%, оба элемента относятся к типичным литофильным, тесно связаны с гранитоидами и щелочными интрузиями.

Геохимическая судьба Nb и Ta тесно связана в связи с близостью их кристаллохимических свойств—одинаковых радиусов ионов—0,66 Å и одинаковой наиболее обычной валентности (5); широко развит изовалентный изоморфизм обоих элементов, неограниченный в рядах минералов колумбит-танталит, пирохлор-микролит, эвксенит-поликраз. Обычен также гетеровалентный изоморфизм Nb и Ta с Ti (ионный радиус 0,64 Å, валентность—4), Sn (ионный радиус 0,67 Å, валентность—4), W (ионный радиус 0,65 Å, валентность—6), Fe^{+++} (ионный радиус 0,67 Å, валентность—3).

Особо тесная связь устанавливается в геохимической истории Nb и Ta с Ti , менее ярко с Zr , Sn , W . Наблюдаются и некоторые отличия в поведении Nb и Ta ; первый более характерен для щелочных гранитоидов и щелочных пород, второй—для кислых гранитов.

Nb тесно ассоциирует с Ce , Th , Na , Ca , Ba , Sr , в то время как Ta —с Y , U , Bi , K , Li , F .

Известно более 90 (включая разновидности) собственных минералов Nb и Ta , главным образом окислов, отчасти силикатов и один самородный (тантал); кроме того, ниобий и тантал в виде изоморфной примеси входят в ряд минералов-носителей ниобия и тантала.

Среди собственных минералов тантала и ниобия наибольшее распространение и промышленное значение имеют следующие:

	Nb_2O_5 , %	Ta_2O_5 , %
Колумбит (Fe , Mn) Nb_2O_6	до 76	до 19
Танталит (Fe , Mn) Ta_2O_6	" 20	" 86
Пирохлор (Na , Ca) _{2-x} Nb_2O_6 (OH , F)	" 71	" 5,5
Микролит (Ca , Na) ₂ Ta_2O_6 (O , OH , F)	" 9	" 80
Эвксенит (Y , Ce , $Ca...$) (Nb , Ta , Ti) ₂ O_6	" 34	" 21
Поликраз (Y , Ce , $Ca...$) (Ti , Nb , Ta) ₂ O_6	" 29	" 1
Лопарит (Na , Ce , $Ca...$) (Ti , Nb) O_3	" 11—20	" 1

Наиболее обычными минералами-носителями Nb и Ta являются: пировскит (до 5,5 % Nb_2O_5 и 0,2% Ta_2O_5), сфен (до 3 % Nb_2O_5 и 0,9 %

Таблица 2

Генетические типы месторождений ниобия и тантала

Генетический тип	Связь с магматическими породами	Главные минералы Nb и Ta	Ассоциация элементов	Примеры месторождений
Собственномагматические а) лопаритовые б) колумбитовые в) перовскитовые	Щелочные и нефелиновые сиениты Щелочные граниты Щелочные—ультраосновные	Лопарит Колумбит Перовскит	Nb, Ti Nb, Sn Nb, Ti	Кольский п-ов Джос (Нигерия) Кольский п-ов, Магнет—Ков (Арканзас)
Пегматиты щелочных пород	Щелочные и нефелиновые сиениты	Пирохлор, ильменорутит	Nb, Ti	Кольский п-ов, Урал
Гранитные пегматиты	Кислые граниты	Тантало-колумбит	Ta, Nb, Be, Sn, Li, Cs	СВ Бразилия, Конго, Австралия, Ю. Родезия
Карбонатиты	Щелочные—ультраосновные комплексы	Пирохлор, перовскит	Nb, Zr, TR, Ta	М-ния Бразилии, Африки, Канады, Сибири
Грейзенизированные и альбитизированные граниты, сиениты	Граниты, сиениты	Пирохлор, ильменорутит, тантало-колумбит	Nb, Ta, Ti, Be, Sn, W	Казах. ССР, Забайкалье, ЮЗ Африка, Нигерия
Элювиально-делювиальные и аллювиальные россыпи	Результат разрушения коренных м-ний пяти типов	Колумбит, танталит, ильменорутит, пирохлор и др.	Nb, Ta, Ti Sn, Zr, TR	Джос (Нигерия), Конго, Бразилия, Зап. Австралия, СССР

Ta_2O_5), ильменит (до 2,2 % Nb_2O_5 и 0,1 % Ta_2O_5), касситерит (до 2,4 % Nb_2O_5 и 4 % Ta_2O_5), вольфрамит (до 6 % Nb_2O_5 и 0,8 % Ta_2O_5), эвдиалит (до 1,15 % Nb_2O_5 и 0,75 % Ta_2O_5), гематит (до 2,2 % Nb_2O_5 и 0,3 % Ta_2O_5) и др.

Кондиции, принятые при разработке коренных месторождений — 0,2 % Nb_2O_5 или Ta_2O_5 , для россыпей — 0,1 кг колумбита или танталита на 1 м³ породы.

Среди многообразия генетических типов месторождений ниобия и тантала наибольшее промышленное значение имеют собственноматматические месторождения колумбита и лопарита, карбонатитовые месторождения пироксеновых руд, гранитные пегматиты с тантало-колумбитом и элювиально-делювиальные и аллювиальные россыпи колумбита и танталита. Более полная характеристика генетических типов месторождений ниобия и тантала приведена в табл. 2.

ЛИТЕРАТУРА ПО ТАНТАЛУ И НИОБИУ

- Апельцин Ф. Р., Фельдман Л. Г. Колумбитоносные граниты. Госгеолтехиздат, 1958.
- Беус А. А., Ситни А. А. Микролитсодержащие граниты—новый перспективный тип месторождений тантала. «Разведка и охрана недр», № 10, 1960.
- Беус А. А., Ситни А. А. К геохимии тантала и ниобия в гидротермально-пневматолитическом процессе. «Геохимия», № 3, 1961.
- Бородин Л. С. О типах карбонатитовых месторождений и их связи с массивами ультраосновных-щелочных пород. Изв. АН СССР, сер. геол., № 5, 1957.
- Бородин Л. С. Перовскит в ультраосновных породах Африканды и некоторые вопросы генезиса этого массива. Тр. ИМГРЭ, вып. 15, 1963.
- Быховер Н. А. Экономика минерального сырья. Раздел тантал и ниобий. Изд. «Недра», 1967.
- Власов К. А., Кузьменко М. В., Еськова Е. М. Ловозерский щелочной массив. Изд. АН СССР, 1959.
- Герасимовский В. И., Кахана М. М., Родионова Л. М., Венкина В. А. К геохимии ниобия и тантала в Ловозерском щелочном массиве. «Геохимия», № 7, 1959.
- Гинзбург А. И. О некоторых особенностях геохимии тантала и типах танталового оруденения. «Геохимия», № 3, 1956.
- Еськова Е. М. К геохимии ниобия и тантала в массивах нефелиновых сиенитов Вишневых гор. «Геохимия», № 2, 1959.
- Еськова Е. М., Жабин А. Г., Мухитдинов Г. Н. Минералогия и геохимия редких элементов Вишневых гор. Изд. «Наука», 1964.
- Кузнецов И. Г. Лопарит—новый редкоземельный минерал Хибинских тундр. Изв. Геол. ком-та, 44, № 6, 1925.
- Кузьменко М. В. Генетические типы месторождений и рудопроявлений ниобия и тантала. Тр. ИМГРЭ АН СССР, вып. 4, 1960.
- Кухаренко А. А., Скрижинская В. И., Вайнштейн Э. Е., Кахана М. М. К геохимии ниобия и тантала в комплексах щелочно-ультраосновных пород. Зап. ВМО, ч. 90, № 2, 1961.
- Пачаджанов Д. Н. Ниобий в бокситах. «Геохимия», № 2, 1962.
- Северов Э. А. К вопросу о генезисе ниобийсодержащих гранитов. Изв. АН СССР, сер. геол., № 1, 1962.
- Erickson R. L., Blade L. V. Geochemistry and petrology of the alkalic igneous complex at Magnet Cove, Arkansas. Geol. Surv. Prof. paper, № 425, 1963.
- Kun N. Die Niobkarbonatite von Africa. Neues Jahrb. Mineral. Monatsh. H 6, 1961.
- Kun N. The economic geology of columbium (niobium) and tantalum. Econ. Geol. v 57, № 3, 1962.

Miller G. L. Tantalum and niobium. London, 1959.

Rankama K. On the geochemistry of tantalum. Bull. Comiss. géol. Finlande, № 133, 1944.

Rankama K. On the geochemistry of niobium. Ann. Acad. sci. fenn. ser. A, III, № 13, 1948.

Sinclair W. E. Columbite in Nigeria. Mining G. № 6201, 1954.

Бериллий (глюциний)

Драгоценные разности минерала берилла—изумруд и аквамарин—были известны в глубокой древности и месторождения их разрабатывались.

В 1797 г. французский химик Вокелен установил окись бериллия—«берилловую землю», которую в связи со сладким вкусом ее солей он назвал глюцинием (от глюкозы); соли эти однако ядовиты.

Металлический бериллий впервые был получен в 1828 г., а промышленный способ получения *Be* (чистоты 99,5%) электролизом был разработан лишь в 1921 г. Бериллий—один из самых легких металлов с $d = 1,84$ и температурой плавления около 1285°C .

Сплавы *Be* с *Cu* (малорай), *Al* (бералит), *Ni*, *Zn* и некоторыми другими металлами, обладая прочностью стали, имеют в то же время небольшой удельный вес и широко применяются в самолетостроении, судостроении, моторостроении, представляя весьма перспективный материал для ракет и космических кораблей.

Бериллий и его сплавы и соединения широко применяются в экранах и «окнах» рентгеновских трубок, в деталях атомных реакторов, телевизоров, циклотронов, а также в качестве химического топлива для спутников и ракет.

Бериллий в смеси с препаратами *Ra* под действием α -лучей или дейтронов испускает нейтроны, используемые при расщеплении ядер атомов в реакторах (действуют, как замедлители быстрых нейтронов).

Некоторые сплавы бериллия применяются широко в изготовлении пружин, а соединения бериллия—в керамике и эмалях, непирофорных (неискрящих) инструментах, люминесцентных лампах, электротехнике. Ежегодная добыча бериллиевых концентратов в капиталистических странах достигла 15 тыс. т, причем главными добывающими странами являются Бразилия, Индия, Аргентина, Конго (Киншаса), также ЮАР, Австралия, Ю. Родезия, США.

Кларк *Be* в земной коре 0,0005% (по В. М. Гольдшмидту); А. П. Виноградов (1962) дает более низкое значение—0,00038%. Бериллий—типичный литофильный элемент, связанный с гранитоидами и щелочными интрузивами. Ионный радиус бериллия $0,34 \text{ \AA}$ —наименьший среди металлов. Бериллий образует более 40 собственных минералов—главным образом силикатов и алюмосиликатов, большей частью редких.

Изоморфизм *Be* в силикатах объясняют кристаллохимическим сходством тетраэдрических комплексов $[\text{BeO}_4]^{6-}$, $[\text{SiO}_4]^{4-}$ и $[\text{AlO}_4]^{5-}$.

Таблица 3

Генетические типы месторождений бериллия

Генетический тип	Связь с магматическими породами	Главные минералы <i>Be</i>	Ассоциация элементов	Примеры месторождений
Гранитные пегматиты	Граниты	Берилл, фенакит, хризоберилл	<i>Be, Li, Ta, Nb</i>	Бразилия, Индия, Сибирь
Щелочные пегматиты	Щелочные и нефелиновые сиениты	Эпидидимит и эвдидимит — $Na[BeSi_3O_7]OH$	<i>Be, TR, Ga</i>	Кольский п-ов, Норвегия, Гренландия
Скарновый	Умереннокислые гранитоиды	Гельвин, фенакит, хризоберилл	<i>Be, W, F</i>	Железная гора (США), Казах. ССР, Сибирь
Грейзеновый	Кислые граниты	Берилл, фенакит, гельвин	<i>Be, W, Sn, Mo, F</i>	Казах. ССР, Аргентина, КНР
Грейзенизированные и альбитизированные граниты, гранодиориты	Граниты, гранодиориты	Берилл, берtrandит — $Be_4[Si_2O_7](OH)_2$	<i>Be, W, Mo, Bi, Cu, B, Li</i>	Каз. ССР, США
Гидротермальный	С умереннокислыми гранитоидами среди песчанисто-сланц. пород	Гельвин, даналит	<i>Be, Sn, F</i>	Сибирь
а) сульфидно-касситеритовый тип	Среди карбонатных пород	Гельвин	<i>Be, Pb, Zn, Cu</i>	Ср. Азия, США
б) полиметаллический				

Наиболее распространенными и промышленно важными минералами бериллия являются:

	$BeO, \%$	$Be, \%$
Берилл $Al_2Be_3[Si_6O_{18}]$	до 14,1	5,1
Гельвин $Mn_4[BeSiO_4]_3S$	„ 13,6	4,9
Хризоберилл Al_2BeO_4	„ 20,7	~7
Фенакит $Be_2[SiO_4]$	„ 43,9	16

В виде примеси Be присутствует в везувиане (0,5—4% $Be O$), орпите (2,5—5,5%), берилло-содалите (до 5,3%), тортвейтите (до 0,7%), гранатах (до 0,4%), золе углей (до 0,8%), золе пшеницы (до 2%) и др.

Кондиции на бериллиевые руды во многом зависят от типа месторождений, обогатимости руд и других факторов; обычно разрабатываются руды, содержащие 0,1—1% BeO . Среди большого многообразия генетических типов месторождений бериллия до последнего времени важнейшее значение имели гранитные пегматиты, в особенности спудумцовый подтип их; в последние годы все большее значение начинают приобретать скарновые гельвиновые месторождения, а также зоны флюоритизации в карбонатных породах. Наибольшие перспективы как источник огромных количеств мелковкрапленных руд имеют Be -содержащие грейзенизированные и альбитизированные граниты и гранодиориты.

Более полная характеристика генетических типов месторождений бериллия приведена в табл. 3.

ЛИТЕРАТУРА ПО БЕРИЛЛИЮ

- Беус А. А. К геохимии бериллия в гидротермально-пневматолитическом процессе. Тр. ИМГРЭ АН СССР, вып. 2, 1958.
- Беус А. А. Бериллий. Изд. 2. Геология месторождений редких элементов, вып. 4, Госгеолтехиздат, 1959.
- Беус А. А. Геохимия бериллия и генетические типы бериллиевых месторождений. Изд. АН СССР, 1960.
- Беус А. А., Субботин К. Д. Литий, бериллий и фтор как индикаторы глубинных поисков бериллиеносных гранитоидов. «Сов. геология», № 5, 1964.
- Гангеев И. Г. К геохимии бериллия. «Геохимия», № 5, 1961.
- Говоров И. Н. Особенности минералогии и генезиса оловянно-бериллиево-флюоритовых месторождений Дальнего Востока. Изв. АН СССР, сер. геол., № 1, 1958.
- Джанс. «Риббон-рок» — необычные бериллиеносные тактиты. В кн. «Геохимия, минералогия и месторождения бериллия», ИЛ, 1955.
- Заболотная Н. П., Новикова М. И., Шацкая В. Т. Вольфрам-молибден-олово-бериллиевые месторождения и условия их образования. Госгеолтехиздат, 1962.
- Константинов М. М. К проблеме гельвиновых руд. «Цветные металлы», № 1, 1947.
- Меликсетян Б. М. О находке хризоберилла в щелочных пегматитах Мегринского района. Зап. Арм. Отд. ВМО, вып. 2, 1963.
- Некрасов И. Я. О новом типе бериллиевого оруденения. «Геология рудных месторождений», № 2, 1960.
- Редкие металлы. Бериллий, ч. 3, 4. Сборник переводных статей из иностр. периодич. литературы под ред. А. А. Беуса и М. Б. Рейнипана. ИЛ, 1955.
- Сумин Н. Г. О некоторых особенностях скарновых минералов железорудных месторождений. Тр. Мин. музея АН СССР, вып. 6, 1954.

- Требования промышленности к качеству минерального сырья, вып. 36, «Бериллий», 1947.
- Щербаков Д. И. Генетические типы бериллиевых месторождений СССР. «Редкие металлы», № 1, 1936.
- Эверест Д. Химия бериллия. Издат. «Химия», М. (перев. с англ.), 1968.
- Glass I. I., Jahns R. H., Stevens R. S. Helvite and danalite from New Mexico and the helvite group. Amer. Mineral. 29, N5—6, 1944.
- Johnston W. D. Jr. Beryl-tantalite pegmatites of Northeastern Brazil. Bull. Geol. Soc. America, v. 56, N 11, 1945.
- Lacroix A. Minéralogie de Madagascar. T 1—3, Paris, 1922—1923.

Цирконий и гафний

Минерал циркон был известен в глубокой древности, причем прозрачные и красивоокрашенные его разновидности применялись как драгоценный камень; само название происходит от искаженных персидских слов—цар «золото» и гун—«цвет», т. е. золотистый.

Цирконий (Zr) в качестве нового элемента открыт в 1789 г. шведским химиком Клапротом в цирконе, а металлический цирконий получен в 1914 г.

Гафний (Hf) геохимически тесно связан с цирконием и входит в состав его минералов.

Гафний был предсказан еще в 1870 г. Д. И. Менделеевым, но как новый элемент открыт только в 1923 г. рентгеноспектральным анализом, произведенным Костером и Гевеши; название происходит от латинского названия г. Копенгаген (Hafnia)—родины датчанина Костера. Металлический цирконий имеет $d=6,25$, температуру плавления 1830°C , ковков, образует сплавы с Nb и Co (магнитны) и с Nb (обладают сверхпроводимостью).

Цирконий в качестве легирующей добавки идет на выплавку быстрорежущих, инструментальных и броневых сталей. Применяются сплавы циркония с цветными и легкими (магний) металлами, цирконий заменяет тантал в нержавеющей стали в химическом машиностроении, применяется в ядерных реакторах на атомных судах. Циркон и его окись используются в качестве огнеупорного материала, а также при варке стекла, в керамике, изготовлении глазури, эмали и др.

Гафний—металл с $d=13,31$, температурой плавления 2230°C , очень ковкий, применяется как составная часть тугоплавких сплавов (с Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Ag), а окись HfO_2 представляет огнеупорный материал с температурой плавления 2800°C .

Гафний и его соединения получают применение в атомной промышленности в деле защиты от радиоактивных излучений (абсорбируют тепловые нейтроны и поглощают газы).

Кларк циркония составляет 0,016—0,017% (И. П. Тихоненков, Р. П. Тихоненкова), кларк гафния около 0,0003%. Оба элемента относятся к типичным литофильным, тесно связаны с щелочными и кислыми магматическими комплексами, встречаются совместно (гафний—

Таблица 4

Генетические типы месторождений циркония и гафния

Генетический тип	Связь с магматическими породами	Главные минералы Zr и (Hf)	Ассоциация элементов	Примеры месторождений
Собственномагматический	Нефелиновые сиениты	Эвдиалит	<i>Zr, Hf, Ti, Ga</i>	Кольский п-ов, Гренландия
Пегматитовый	Гранитоиды и щелочные породы	Циркон, эвдиалит	<i>Zr, Ti, TR, Hf, Ga</i>	Австралия, Бразилия, Кольский п-ов
Карбонатитовый	Ультраосновные — щелочные комплексы	Бадделлит, циркон	<i>Zr, Nb, TR, Hf</i>	Бразилия, Сибирь
Альбититы, микроклиныты	Граниты, щелочные породы	Циркон	<i>Zr, Hf, TR</i>	Укр. ССР
Гидротермальный	Щелочные породы	Циркон	<i>Zr, Hf, F, TR</i>	Ср Азия, Кавказ
Россыпи элювиально-делювиальные, аллювиальные и морские прибрежные	Результат разрушения коренных м-ний и пород	Циркон, бадделлит	<i>Zr, Hf, Ti</i>	Австралия, США, СССР, Бразилия, Индия

как изоморфная примесь в минералах циркония). Минералов циркония (включая разновидности) известно 27—окислы и силикаты; гафний не образует самостоятельных минералов, но известны разновидности циркона, резко обогащенные гафнием.

Широкий изоморфизм гафния с цирконием объясняется общностью их кристаллохимических свойств—одинаковым размером ионного радиуса обоих элементов (0,82 Å), одинаковой валентностью (4) и др.

Широко распространены следующие минералы циркония и связанного с ним гафния:

		ZrO ₂ , %	HfO ₂ , %
Циркон	Zr(SiO ₄)	33—67	1—2
Бадделейт	ZrO ₂	95—99	1,2—1,8
Эвдиалит	(Na, Ca) ₅ (Zr, Mn, Fe)Si ₆ O ₁₇ (O, OH, Cl)	11—16	0,13—0,7

Важное промышленное значение имеют циркон и бадделейт.

Известны разновидности цирконов, необычно богатые гафнием: альвит (HfO₂ 16%, пегматиты Норвегии), циртолит (HfO₂—24%), гафниевый циркон (HfO₂ 31%, Кариб ЮЗ Африка). Значительная часть содержащихся в породах циркония и гафния рассеяна в минералах титана, редких земель, ниобия, а также в породообразующих темноцветных минералах. Мировая ежегодная добыча циркониевых концентратов (с содержанием циркона до 90%) достигает 100 тыс. т; гафний извлекается из них попутно. Главными поставщиками являются Австралия, США, Индия, Бразилия.

Промышленный интерес представляют руды с содержанием ZrO₂ от 0,3 до 0,5% и выше.

Главными промышленными типами месторождений являются современные и ископаемые россыпи циркона, бадделейтовые месторождения Поко-де-Калдас (Бразилия), альбитизированные и микроклинизированные цирконсодержащие массивы (СССР), карбонатитовые месторождения (Бразилия).

Более полная характеристика генетических типов месторождений циркония и гафния приведена в табл. 4.

ЛИТЕРАТУРА ПО ЦИРКОНИЮ И ГАФИНИЮ

- Балашов Ю. А., Туранская Н. В. Особенности состава редкоземельных элементов в эвдиалитах и лопаритах Ловозерского массива. «Геохимия», № 2, 1960.
- Белов Н. В., Симонов В. И. Об изоморфных соотношениях между цирконием и титаном. ДАН СССР, 125, № 4, 1959.
- Бородин Л. С. О типах карбонатитовых месторождений и их связи с массивами ультраосновных-щелочных пород. Изв. АН СССР, сер. геол., № 5, 1957.
- Гевеши Г., Янцен Ф. Т. Содержание гафния в циркониевых минералах. В кн. «Основные идеи геохимии», вып. 2. Изд. ОНТИ, 1935.
- Меликсетян Б. М. О соотношении циркония и гафния в цирконах из пород Мегринского плутона. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. 13, № 5, 1960.
- Нечаев П. В. Тобольское россыпное титано-цирконовое месторождение. В кн. «Труды Объединенной Кустанайской научной сессии, посвященной проблемам Тургайского регионально-экономического комплекса», т. 2, Геологическая сессия. Алма-Ата, Изд. АН Каз. ССР, 1958.

- Тихоненков И. П. Генетические типы и классификация месторождений циркония и гафния. Тр. ИМГРЭ АН СССР, вып. 2, 1959.
- Требования промышленности к качеству минерального сырья, вып. 45, Цирконий, 1947.
- Фельдман Г. М. Циркон и цирконий, 1941.
- Connah T. H. Beach-sand heavy-mineral deposits of Queensland. Queensl. Dept. Mines Geol. Survey Queensl. Publ. № 302, 1961.
- Hevesy G., Jantzen V. The hafnium content of zirconium ores. — Chem. Trade News, 130, 1925.
- Levinson A. A., Borup R. A. High hafnium zircon from Norway. (Abst) — Bull. Geol. Soc. America, v. 70, № 12, 1959.
- Martin D. R., Pizzolato-P. J. Hafnium. In: "Rare metals handbook", 1954.

Литий

Открыт в 1817 г. шведским химиком Арфведсоном в минерале пегматите— $(Li, Na) [AlSi_4O_{10}]$ из пегматитовых жил С. Швеции. В чистом виде металлический литий получен в 1855 г.

Это пластичный, мягкий металл с уд. весом 0,534 (плавает в бензине) и температурой плавления 180°C , по химическим свойствам близок к другим щелочным металлам—натрию, калию, рубидию и цезию.

Среди металлов, применяемых в технике, литий является самым легким; низким уд. весом обладают и сплавы лития с Al , Mg , Zn , Si и др. Сплав состава 70 % Mg +30 % Li с уд. весом 1,4 широко применяется в самолетостроении; есть сплавы с уд. весом около 1 и ниже. Изотоп Li^6 при бомбардировке нейтронами переходит в He и сверхтяжелый изотоп водорода—третий.

Тритий—компонент термоядерных процессов, используется в водородных бомбах, также в долговечных атомных батареях для военных нужд (около 20 лет работают без перезарядки).

Соединения лития используются в стекольной промышленности, в изготовлении фарфора, фаянса, керамики, глазурей, эмалей, пластмасс, синтетического каучука, смазок, а также как катализаторы многих органических реакций. $LiOH$ хороший поглотитель CO_2 (применяется для очистки воздуха в подводных лодках и респираторах летчиков).

Ряд водородных и других соединений лития применяется как высококалорийное химическое топливо для ракет, сверхзвуковых самолетов, управляемых снарядов, подводных лодок. Добавка Li к меди и ее сплавам повышает электропроводность; Li добавляют в серебряные припои, подшипниковые сплавы, используют в щелочных аккумуляторах.

В связи с широким применением лития и его соединений в ряде весьма ответственных отраслей современной техники производство лития росло очень быстро и в настоящее время превысило тысячи тонн в год, в расчете на карбонат лития. Основными капиталистическими странами, получающими соединения лития, являются США, ФРГ и Великобритания.

Таблица 5

Генетические типы месторождений лития

Генетический тип	Связь с магматич. породами	Главные минералы лития	Ассоциация элементов	Примеры месторождений
Пегматитовый	Граниты	Сподумен, лепидолит, петалит, амблигонит	<i>Li, Rb, Cs, Be, Nb, Ta</i>	Кингс-Маунтин (США), Ла-Корн (Канада), Ка- рибид (ЮЗ Африка), Лондондерри (Австра- лия) и др.
Грейзеновый	Граниты	Циннвальдит, лепидо- лит, амблигонит	<i>Li, Sn, Rb, Cs, Nb, Ta</i>	Циннвальд (ГДР), Каце- рес (Испания), Сибирь
Осадочный хемогенный	—	Рапа соляных озер (хлориды лития)	<i>Li, Na, K, B, M</i>	Озеро Сёрлс (Калифор- ния), озера Цайдам- ской впадины (КНР)
Минеральные источники	--	В воде источников до 0,4 % <i>LiCl</i>	<i>Li, Na, Cl, B, As, Ni, Zn</i>	Карловы Вары (ЧССР), Виши (Франция) и др.

Литий—типичный литофильный элемент, тесно связанный с гранитоидами.

Кларк Li в земной коре 0,005% (по другим данным 0,0065%), ионный радиус 0,78 Å, очень типична ассоциация с Na в $Na-Li$ типе гранитных пегматитов, для которых характерен F и нередко Be и B .

В осадочных процессах Li концентрируется в глинах, глауконите, рапе существенно натрий-борных озер, в солях, илах. По своим химическим свойствам Li близок к Na , но по величине ионного радиуса ближе к Mg , Fe и Al , в связи с чем входит в состав многих $Mg-Fe$ и Al минералов.

Рудами на литий являются: сподумен, лепидолит, петалит, монтебразит, амблигонит, циннвальдит и рапа соляных озер:

		Li_2O в %
Сподумен	$LiAl[SiO_3]_2$	до 7,6
Лепидолит	$KLim(Mg, Fe)nAlp[AlSi+qO_{10}](F, OH)_2$	„ 5,7
Петалит	$(Li, Na)[AlSi_4O_{10}]$	„ 4,1
Монтебразит	$LiAl(PO_4)(OH)$	„ 9
Амблигонит	$LiAl(PO_4)F$	„ 8
Циннвальдит	$KLiFe^{2+}Al[AlSi_3O_{10}](OH, F)_2$	„ 4,5

Главными рудами на литий являются первые три минерала, широко развитые в гранитных пегматитах, а лепидолит обычен также в грейзенах, в ассоциации с касситеритом, тантало-колумбитом, турмалином, топазом, реже бериллом, флюоритом, поллуцитом.

Кроме отмеченных выше собственных минералов, литий в виде примеси присутствует обычно в количестве 0,1—1% Li_2O в слюдах, хлорите, роговой обманке, берилле, турмалине, псиломелане и некоторых других минералах, а также концентрируется в почвах, красных и бурых водорослях, золе табака.

Главным промышленным типом месторождений лития являются гранитные пегматиты, в особенности сподуменовый и петалит-лепидолитовый их типы. Значительно меньшее значение имеют грейзеновые месторождения с циннвальдит-амблигонитовыми рудами, а также рапа некоторых соляных озер и минеральные источники.

Более полная характеристика генетических типов месторождений лития приведена в табл. 5.

ЛИТЕРАТУРА ПО ЛИТИУ

- Беус А. А. К геохимии лития в процессах послемагматического метасоматоза. Тр. ИМГРЭ АН СССР, вып. 7, 1961.
- Бойко Т. Ф. Озеро Серлс и его литиеносные и вольфрамоносные рассолы. Тр. ИМГРЭ, вып. 17, 1963.
- Гинзбург А. И. Минералого-геохимическая характеристика литиевых пегматитов. Тр. Мин. музея АН СССР, вып. 7, 1955.

Гинзбург А. И. Некоторые особенности геохимии лития. Тр. Минер. музея АН СССР, вып. 8, 1957.

Коган Б. И. Литий: Области освоенного и возможного применения. Изд. Всес. ин-та научной и технической информации, 1960.

Остроушко Ю. И., Алексеева В. В. Термальные воды как потенциальный источник лития. «Атомная энергия», 10, вып. 4, 1961.

Требования промышленности к качеству минерального сырья, вып. 41, Литий, Госгеолтехиздат, 1959.

Шамрай Ф. И. Литий и его сплавы. Изд. АН СССР, 1952.

Юань-Цзянь-ци. Типы соляных озер в бассейне Цайдам (КНР). Acta Geol. Sinica, 39 № 3, 1959.

Ядерные реакции. Материалы для ядерных реакторов. ИЛ, 1956.

Landolt P. E. Lithium. In: "Rare metals handbook" 2-nd ed. N. 1.—London, 1961.

Рубидий и цезий

Rb и *Cs* открыты в 1860 г. (цезий) и 1861 г. (рубидий) немецкими учеными Кирхгофом и Бунзенom при спектральном анализе лепидолита по характерным голубой (*caesius* по латыни) и темно-красной (*rubidis*) линиям спектра.

Металлические *Rb* и *Cs* представляют собой очень мягкие металлы с $d=1,5$ и температурой плавления 39°C для рубидия и $d=1,9$ и температурой плавления $28,5^\circ\text{C}$ для цезия.

Применяются рубидий и цезий в фотоэлементах, ионных двигателях и плазменных процессах, атомной технике, радиотехнике, звуковом кино, вакуумных лампах, а радиоактивный изотоп рубидия также при лечении злокачественных опухолей.

Рубидий и цезий применяются в стекольной промышленности и в качестве катализатора. Точных данных о мировом производстве *Rb* и *Cs* в нашем распоряжении нет; известно, однако, что добыча обоих металлов незначительна (рубидия—десятки тонн, цезия—несколько тонн в год) и производится главным образом в США, ЮАР, Швеции, СССР, ФРГ.

Rb и *Cs* относятся к группе щелочных металлов и представляют типичные литофильные элементы, связанные с гранитной магмой.

Ионный радиус *Rb* 1,49 Å, *Cs*—1,65 Å; эти значения близки к величинам ионных радиусов *K*—1,33 Å и *Tl*—1,49 Å, поэтому в природе очень обычна ассоциация: *Rb*, *Cs*, *K*, *Tl*, а также *Li*, *Na*.

Кларк *Rb*—0,015%, кларк *Cs* намного ниже—0,00037% (А. П. Виноградов, 1962). Для рубидия очень характерно вхождение в решетку калиевых минералов; самостоятельные минералы рубидия неизвестны. Цезий также обычно входит в состав минералов, богатых калием, но образует и самостоятельные минералы—поллуцит и авогадрит.

Рубидия до 4,5% рассеяно в мусковите и лепидолите, до 3% в амзоните, до 0,85% в поллуците; присутствует в заметных количествах (> 0,1%) также в биотите, альбите, ортоклазе, циннвальдите, флогопите, берилле, турмалине, нефелине, лейците и других минералах, некоторых почвах, солях, золе сахарного тростника (до 0,2% *Rb₂O*).

Для цезия известны собственные минералы — поллуцит

$Cs[AlSi_2O_6]nH_2O$ с содержанием до 34% Cs_2O и авогадрит ($K, Cs[BF_4]$ с содержанием до 19% $CsBF_4$). Известны также цезиевые разновидности берилла — воробьевит и мorganит (до 7,52% Cs_2O), родичит (до 3,47% Cs_2O), цезиевый биотит (до 3,14% Cs_2O), цезиевый лепидолит (до 1,9% Cs_2O); цезий рассеян также в грейзенизированных гранитах, где концентрируется в биотите и мусковите (до 0,11% Cs_2O), микроклине (до 0,5% Cs_2O), амазоните (до 0,24% Cs_2O), лепидомелане (до 0,05% Cs_2O) и др.

В эндогенных процессах Rb и Cs концентрируются в пегматитах и грейзенах в ассоциации с Li, Be, Ta, Nb, Sn , частью в собственно магматическую стадию формирования гранитов (в амазоните, микроклине, мусковите, биотите и др.).

Гидротермальный процесс беден как рубидием, так и цезием. В гипергенных условиях поведение Rb и Cs аналогично или близко таковому K и Li , в связи с чем имеет место концентрация рубидия и цезия в глинах, глауконитах, солях, гидроокислах марганца.

Главными промышленными источниками для рубидия являются циннвальдитсодержащие грейзены и карналлитовые (Стассфурт и др.) месторождения, в перспективе — амазонитовые граниты, а для цезия основным источником служат поллуцитсодержащие пегматиты, в которых поллуцит ассоциирует с мелкопластинчатым альбитом (клевеландитом), рубеллитом и лепидолитом, концентрируясь в центральной части пегматита в виде блоковых обособлений в зональных пегматитах (Варутреск в Швеции, месторождения США, Канады и СССР).

Многие из поллуцитсодержащих пегматитовых месторождений разрабатываются комплексно с извлечением берилла, тантало-колумбита, поллуцита, сподумена и лепидолита.

ЛИТЕРАТУРА ПО РУБИДИУ И ЦЕЗИУ

- Беус А. А., Фабрикова Е. А. Распределение цезия в гранитах СССР. «Геохимия», № 10, 1961.
- Дымков Ю. М. Морфология выделений поллуцита и их генезис. Тр. Минер. музея АН СССР, вып. 5, 1953.
- Заварицкий А. Н. Об амазоните. Зап. ВМО, ч. 72, вып. 1, 1943.
- Перельман Ф. М. Рубидий и цезий. Изд. 2, доп. и перераб. Издат. АН СССР, 1960.
- Сажина Л. И. О распространении рубидия в гранитах СССР. «Геохимия», № 6, 1958.
- Ставров О. Д., Портнов А. М. К геохимии цезия в щелочных породах. «Геохимия», № 3, 1965.

Скандий

Скандий предсказан в 1869 г. Д. И. Менделеевым под названием экабор, открыт шведским химиком Л. Нильсоном в 1879 г. и назван по Скандинавии.

Металлический скандий мягкий, имеет уд. вес около 3, температуру плавления 1400°, кипения 2500°C.

Добыча и применение пока ограничены. Сплавы на основе скандия применяются в ракетостроении, в управляемых снарядах, космических кораблях, лазерах (фторид скандия); скандий начинает получать применение в полупроводниках, радиотехнике, ферромагнетиках, сверхпроводниках (нитрид скандия— ScN с температурой плавления 2900°C).

Основными источниками промышленного получения скандия служат касситеритовые и вольфрамитовые концентраты, в особенности высокотемпературных месторождений, содержащих также Ta и Nb .

Кларк Sc — 0,0006%, концентрации его приурочены к пегматитам, скарнам, грейzenам; большие количества скандия рассеяны в темноцветных минералах основных и ультраосновных пород (в пироксенах, амфиболах, биотите—до 0,03—0,04% Sc_2O_3).

В связи с тем, что по своим свойствам (ионный радиус 0,83 Å) скандий близок к Mg , Al , Ca , Mn^{2+} , Fe^{2+} , TR , Hf , Th , U , Zr , главная масса его рассеивается в минералах, содержащих эти элементы, хотя известны и собственные очень редкие минералы скандия—тортвейтит $(Sc, Y)_2Si_2O_7$ с содержанием Sc_2O_3 до 53,5% и стерреттит $Sc(PO_4) \cdot 2H_2O$ с содержанием Sc_2O_3 до 39,22%.

Скандиеносных минералов известно более 100, среди которых следует назвать наиболее обогащенные им: скандиевый берилл—баццит (Sc_2O_3 3—10%), ксенотим (до 1,5%), флюорит (до 1%), ортит (до 0,8%), мусковит (до 0,6%), торинанит и самарскит (до 0,45%), давидит и ильменорутил (до 0,3%), вольфрамит, касситерит, гранат, берилл (до 0,2%), тантало-колумбит (до 0,15%), шеелит (до 0,1%), циркон (до 0,08%), циннвальдит (до 0,05%) и др.

В отдельных случаях скандий накапливается в углях (в золе до 0,1%), бокситах, осадочных рудах железа, фосфатах, глинах.

Необходимо отметить, что Sc в природных соединениях особенно часто замещает Fe^{2+} , Mg , Ca , Mn^{2+} , TR , Al , Zr , Hf , Th , U , у которых близкие с ним радиусы ионов и другие свойства.

Имеет место изовалентное замещение скандием элементов гр. TR , особенно в существенно иттриевых минералах (ксенотим, ассоциация $Sc—Y$ в тортвейтите) и замещение Al в берилле (скандиевый берилл—баццит).

Гетеровалентное замещение скандием Fe^{2+} и Mg в пироксенах, амфиболах, оливине, биотите широко развито в основных-ультраосновных породах, а замещение скандием Zr —в поздние стадии магматического процесса и в пегматитах.

Имеет место концентрация скандия в пироксенитах (до 0,02—0,03% Sc_2O_3) и в габбро (до 0,0076%); скандий накапливается также в пегматитах, содержащих TR и Li (Скандинавия, Мальгашская республика на о-ве Мадагаскар, Япония и др.), в грейzenах, альбитизированных гранитах, скарнах, карбонатитах.

Таблица 6

Генетические типы скандиеносных месторождений

Генетический тип	Связь с магматическими и другими породами	Главные минералы, содержащие скандий	Ассоциация элементов	Примеры месторождений
Собственно магматический	Пироксениты	Пироксены, амфиболы	<i>Sc, Fe, Ti, Mg</i>	Г. Качканар, г. Таберг
Пегматитовый	Граниты	Тортвейтит; касситерит, колумбит, минералы <i>TR</i>	<i>Sc, Y, Sn, Nb, Ta, TR</i>	Мальгашская республика, Ю. Норвегия
Пневматолитовый (грейзены, скарны, карбонатиты)	Гранитоиды, ультраосновные комплексы	Вольфрамит, касситерит, давидит, пирохлор, бадделейт, берилл, тантало-колумбит	<i>Sc, W, Sn, U, Th, Zr, Nb, Be</i>	Циновец (ЧССР), Мозамбик (м-ние Тете)
Гидротермальный	Гранитоиды	Вольфрамит, касситерит, бацит, флюорит	<i>Sc, W, Sn, Be, F</i>	СССР, Швейцария (Альпы)
Россыпи	Разрушение коренных м-ний и массивов гранитоидов	Касситерит, вольфрамит, циркон, колумбит, минералы <i>TR</i>	<i>Sc, Zr, Y, Sn, W, Nb</i>	Австралия, Индия, США
Осадочный—глины с костными остатками	В глинах	Фтор-апатит, коллофан	<i>Sc, P, F</i>	СССР
Метаморфогенный	В конгломератах	Браннерит	<i>Sc, U, Th</i>	Блайнд Ривер (Канада)
Биолиты	В углях и нефтях	—	<i>Sc, C</i>	СССР
Осадочный	В железных лимонитовых рудах	—	<i>Sc, Fe</i>	СССР

В пегматитах присутствует тортвейтит, в грейзенах S_c концентрируется в вольфрамите, касситерите, берилле; в скарнах—в ферримусковите, берилле, гельвине; в карбонатитах в пирохлоре и бадделеите; в жилах альпийского типа в Швейцарии встречен баццит.

Месторождения собственных минералов скандия—тортвейтита и стерреттита—небольшого масштаба и не представляют значительного интереса; главное промышленное значение имеет попутное извлечение скандия из скандийсодержащих концентратов вольфрамита, касситерита, берилла, минералов урана и редких земель.

Крупные запасы скандия сконцентрированы в прибрежно-морских, аллювиальных и элювиально-делювиальных россыпях циркона, а также в пироксенитах с титаномагнетитовым оруденением.

Более полная характеристика скандиеносных месторождений приведена в табл. 6.

ЛИТЕРАТУРА ПО СКАНДИЮ

- Борисенко Л. Ф. Скандий. Основные черты геохимии, минералогии и генетические типы месторождений. Изд. АН СССР, 1961.
- Борисенко Л. Ф., Родионов Д. А. Распределение скандия в интрузивных породах. «Геохимия», № 9, 1961.
- Борисенко Л. Ф. О нахождении скандия в костных остатках рыб третичного возраста. Тр. ИМГРЭ, АН СССР, вып. 7, 1961.
- Бурксер Е. С., Горный Г. Я. и другие. Материалы по геохимии скандия. Изд. АН УССР, 1955.
- Геология месторождений редких элементов. вып. 8. Скандий. Госгеолтехиздат, 1960.
- Дудыкина А. С. К геохимии скандия. Тр. Ин-та геол. рудных м-ний, петрографии, минералогии и геохимии, вып. 46, 1960.
- Каленов А. Д. Генетические типы месторождений скандия и их промышленное значение. «Разведка и охрана недр», № 6, 1959.
- Комиссарова Л. Н., Шацкий В. М., Зазубин А. И., Саврукова. Выделение скандия из вольфрамо- и бедных полиметаллических железистых руд. В кн. «Разделение близких по свойствам редких металлов». Metallurgizdat, 1962.
- Кухаренко А. А., Клер М. М. К геохимии скандия в щелочно-ультраосновных породах Кольского полуострова и Карелии. Зап. ВМО, ч. 91, вып. 5, 1962.
- Скандий. ИЛ, 1958.
- Требования промышленности к качеству минерального сырья, вып. 68. Скандий. Госгеолтехиздат, 1959.
- Щербина В. В. Факторы, определяющие геохимическое распределение скандия. «Геохимия», № 8, 1959.
- Lacroix A. Sur l'existence a Madagascar d'un silicate de scandium et d'yttrium, la thortveitite. Compt. rend. Acad. sci. Paris, 171, № 8, 1920.
- Phan K. D. „Le scandium“. Chronique Mines, Rech. min. Fr. p 324, nov. 1963, p. p. 349—374.
- Phan K. D. et collab. Le scandium dans les minéraux et les roches encaissantes de certaines pegmatites malgaches. Bull. du BRGM, № 3, 1967.
- Schreiter W. Scandium. Neue Hütte, N 3, 1956.

Бор

Соединения бора были известны в древности алхимикам и упоминаются под названием «борак» в арабских и „богах“ в латинских источниках, откуда и произошло название элемента. Впервые в относительно чистом виде элемент *B* выделен в 1808 г. французским химиком Гей-Люссаком.

Известно два устойчивых изотопа бора— B^{10} (18, 83%) и B^{11} (81, 17%), из которых первый интенсивно поглощает нейтроны и мешает цепным ядерным реакциям, или регулирует их. Бор и его соединения издавна применяются в медицине (бура, борная кислота), в производстве стекла, эмалей, керамики; из новых применений бора следует отметить добавку FeB в спец. стали, использование карбидов бора B_3C и B_4C в качестве заменителей алмаза, применение тугоплавких и сверхтвердых боридов Ti , Zr , Ta , Nb , Cr , Mo . Особенно важное значение приобретают соединения бора с H , Li , Be в качестве реактивного высококалорийного топлива (теплотворная способность около 15 тыс. ккал/кг) и изотоп B^{10} в регулировании ядерных цепных реакций.

Бор принадлежит к числу микроэлементов, необходимых растениям и животным, в связи с чем применяется как микроудобрение в сельском хозяйстве. Кристаллический бор имеет уд. вес.—2,54—2,68, твердость, близкую к алмазу.

Кларк B —0,0003%, элемент связан с гранитоидами (в некоторых гранитах содержится до 1,5% B_2O_3 , главным образом в форме турмалина).

Известно около 70 минералов бора, главным образом боратов и боросиликатов, из которых главными промышленными источниками получения бора являются различные бораты (ашарит, гидроборацит, пандермит, улексит), датолит и, в перспективе, вероятно, турмалин и людовигит. Состав и содержание B_2O_3 в главных минералах бора приведены ниже:

	B_2O_3 в %
Сассолин $B(OH)_3$	56,4
Ашарит $MgBO_2(OH)$	40,4
Гидроборацит $CaMgB_6O_{11} \cdot 6H_2O$	50,5
Пандермит $Ca_4B_{10}O_{19} \cdot 7H_2O(?)$	49,8
Улексит $NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$	42,9
Датолит $CaBSiO_4(OH)$	21,8
Людовигит $(Mg, Fe^{++})_2 \cdot Fe^{+++}[BO_3](O)_2$	13,5—17,8
Турмалин $H_3Na_2(Mg, Fe)_6B_6Al_{12}Si_{12}O_{62}$	8—12

Бор концентрируется в пегматитах, скарнах, в связи с пневматолитовыми (турмалин) и вулканическими (сассолин) эксгаляциями; в экзогенных условиях имеет место накопление бора в осадочных условиях вместе с солями Na и Mg , иногда в осадочных железных рудах, почвах, растениях, морских водорослях, минеральных источниках.

Главными типами месторождений бора являются:

- 1) скарновый (с людвицитом и датолитом в магнетитовых рудах);
- 2) грейзеновый (турмалин в грейзенизированных гранитах и высокотемпературных гидротермальных образованиях);
- 3) вулканогенно-осадочный (бораты м-ний Крамер, Пандерма);
- 4) галогенно-осадочный (бораты в гипсовых шляхах, Индер);
- 5) минеральные воды (горячие источники, рапа озер, нефтяные воды, содержащие до 400 мг/л B_2O_3).

Ежегодно в капиталистических странах добывается более 1 млн. т концентратов борсодержащих минералов (в расчете на B_2O_3 около 300 тыс. т); главными поставщиками бора и его соединений на мировых рынках являются США, Турция, Аргентина, Чили, Иран, Япония, Италия.

ЛИТЕРАТУРА ПО БОРУ

- Александров С. М., Барсуков В. Л., Щербина В. В. Геохимия эндогенного бора. Изд. «Наука», 1966.
- Горбов А. Ф. Условия образования и закономерности размещения боратовых месторождений вулканогенно-осадочного типа. Труды Всес. научно-исслед. ин-та металлургии, вып. 46, 1960.
- Сердюченко Д. П., Глебов А. В., Павлов В. А. Людвицитовая минерализация и (Fe—B—TR)-парагенез в древних платформах. Изд. АН СССР, 1963.
- Требования промышленности к качеству минерального сырья, вып. 69, Бор, 1961.
- Шабынин Л. И. О закономерностях размещения и условиях образования концентратов бора в эндогенных боратах скарновых месторождений. Изв. АН СССР, сер. геол., № 3, 1959.

РАЗДЕЛ II

РАССЕЯННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Сюда включены и последовательно описаны: кадмий, галлий, германий, индий, таллий, рений, селен и теллур.

Кадмий

Открыт в 1817 г. немецким химиком Штроемeyerом в окисленных цинковых рудах; так как выяснилось, что новый элемент постоянно сопутствует цинку, он его назвал кадмием (в древней Греции руды цинка назывались *cadmea*). Уд. вес металлического кадмия—8,64, температура плавления 321°C. Широкое применение кадмия, его сплавов и соединений началось в XX веке в электротехнике (провода контактной сети электропоездов, трамваев, троллейбусов, где примесь кадмия снижает истирание медно-кадмиевой проволоки), гальванотехнике (кадмиевые покрытия металлов), припоях, бронзах, легкоплавких сплавах, аккумуляторах (*Ni—Cd*, *Ag—Cd* и др.).

Важное значение приобретает специальный сплав (5% *Cd*+15% *In*+80% *Ag*)—поглотитель нейтронов в стержнях регулирования и в аварийной защите ядерных реакторов; начинают применяться фотоэлементы и солнечные батареи (*CdS*) с КПД 8%, а в перспективе до 20 %.

Значительные количества кадмия используются в производстве подшпикниковых материалов и сравнительно небольшие—в производстве красок.

Кадмий—типичный халькофильный элемент, тесно ассоциирующий с *Zn* и *Fe*⁺⁺. По кристаллохимическим свойствам ближе всего к цинку, а из более редких элементов—к индию и таллию (ионные радиусы для *Cd* 0,99 Å, *In* 0,99 Å, *Tl* 1,05 Å).

Кларк кадмия—0,00005% (Виноградов А. П., 1956), главным образом рассеян изоморфно в сфалеритах и вюртцитах (больше в светлых от 0,5—1 до 5% и более в кадмиевой разности—пришибрамите). В меньших количествах *Cd* рассеян в ряде минералов: халькопирите (до 0,12%), станнине (до 0,2%), блеклых рудах (до 0,2%), галените и пирите (до 0,02%), апатите (до 0,003%). В зоне окисления накапливается в смит-

соните (до 4,55%), частью во вторичных минералах свинца и железа. Кадмий обнаружен в морских фосфоритах, золе углей, черных сланцах, но наибольшая его концентрация отмечается в гидротермальных сульфидных рудах *Zn, Pb, Ag, Cu*, откуда извлекается основное количество кадмия. Мировое производство в расчете на металл превышает ежегодно 15 тыс. т—главным образом попутно с цинком в США, Канаде, Мексике, Австралии и Италии.

Для кадмия известны и самостоятельные минералы, которые однако не играют большой роли в его добыче. Наиболее распространены:

	<i>Cd</i> , %
Гринокит <i>CdS</i>	77
Отавит <i>CdCO₃</i>	65
Монтепонит <i>CdO</i>	87,5

Эти три минерала встречаются обычно в зоне окисления свинцово-цинковых и полиметаллических руд и только часть гринокита имеет, возможно, гипогенное происхождение.

Согласно В. В. Иванову (1964), собственно магматические медно-никелевые, пегматитовые, грейзеновые и скарновые месторождения характеризуются обычно низкими содержаниями кадмия в сульфидах и небольшими запасами. Наиболее перспективными источниками получения кадмия являются гидротермальные среднетемпературные до низкотемпературных месторождения полиметаллических и свинцово-цинковых руд, характеризующиеся повышенными содержаниями кадмия в сфалерите и других сульфидах и значительными запасами кадмия, который извлекается попутно с главными металлами: цинком, медью, свинцом.

Среди кадмийсодержащих месторождений выделяются три подтипа: а) колчеданных полиметаллических и медных руд; б) свинцово-цинковых руд в силикатных и карбонатных породах; в) свинцово-цинковых телетермальных руд в карбонатных породах.

Гидротермальные среднетемпературные месторождения медно-молибденовых и касситерит-силикатно-сульфидных руд не имеют большого значения, так как содержание кадмия в них и запасы его—небольшие.

ЛИТЕРАТУРА ПО КАДМИЮ

- Бадалов С. Т., Еникеев М. Р. К геохимии кадмия в Алмалыкском и Алтын-Топканском рудных полях Карамазара. «Геохимия», № 4, 1959.
- Иванов В. В. К геохимии кадмия в месторождениях Депутатской группы. «Геохимия», № 2, 1961.
- Малюга Д. П. О кадмии в организмах. ДАН СССР, 31, № 2, 1941.
- Требования промышленности к качеству минерального сырья, вып. 42. Госгеолтехиздат, 1960.
- Ahlfeld F. Die Zink und Kadmiumlagerstätten von Berenguela, Bolivien. Metall und Erz, 33, H. 23, 1936.
- Goldsmith I. R. Cadmium-dolomite and the system $CdCO_3$ — $MgCO_3$. Bull. Geol. Soc. America, 69, № 12, 1958.
- Harwood H. F. The greenockite locality at Bishopton, Scotland. Amer. mineralogist, 39, № 78, 1951.

Галлий

Предсказан в 1869 г. Д. И. Менделеевым, который рассчитал основные свойства нового элемента и назвал его эка-алюминием (из-за сходства свойств).

Через пять лет, в 1874 г., французский химик Лекок де Буабодран спектроскопически обнаружил элемент со свойствами эка-алюминия в сфалерите из месторождения Пьеррифит в Пиренеях и назвал новый элемент галлием (Галлия—древнее название Франции).

По определению Лекока де Буабодрана уд. вес галлия был дан равным 4,7, что вызвало протест Д. И. Менделеева, согласно расчетам которого эта величина равнялась 5,9—6. Повторные точные исследования блестяще подтвердили правоту Д. И. Менделеева и дали цифру 5,96, эта величина и принимается официально как удельный вес галлия. Температура плавления галлия $29,78^{\circ}\text{C}$, температура кипения 2070°C , что дает очень широкий интервал, позволяющий использовать галлий в специальных термометрах, контролирующих металлургические процессы.

Галлий находит применение также в легкоплавких сплавах (с Cd , Al , Zn), катодных радиолампах, выпрямителях тока (взамен Hg), оптических стеклах; сплавы Ga с Al хорошо поддаются горячей прокатке.

В последние годы области применения галлия непрерывно расширяются: полупроводниковая техника, химическая промышленность (катализатор), солнечные батареи, пьезоэлектрические элементы, преобразующие электрическую энергию в ультразвуковую и обратно, и др.

Следует, однако, заметить, что галлий из-за пока очень высокой цены (в 5—6 раз дороже золота) не получил еще широкого технического применения и производство его составляет всего 1—2 т в год (в США, Великобритании, ФРГ и др.). Сейчас составляются программы, согласно которым мировое производство галлия должно превысить 100 т в год.

В настоящее время галлий производят главным образом из цинковых концентратов и при газификации углей; в перспективе намечено получение галлия попутно с производством глинозема из нефелиновых сиенитов, алунитов, бокситов.

Кларк галлия в земной коре довольно высокий для рассеянного элемента—0,0019% (А. П. Виноградов, 1962), повышенные содержания имеют место в щелочных интрузивных породах (0,003—0,004%), щелочных пегматитах (0,01%), альбитизированных породах (до 0,01%), сульфидных цинковых рудах (до 0,02%), бокситах (до 0,01%), некоторых углях (в золе до 0,01—0,05%). Галлий—элемент двойственной геохимической природы—литофильный и халькофильный; по своим кристаллохимическим свойствам наиболее близок к Al и Zn . Ионный радиус Ga 0,62 Å (по другим данным—0,75 Å?), Al 0,62 Å, Zn 0,86 Å.

Широко распространен изоморфизм между $(\text{AlO}_4)^{5-}$ и $(\text{GaO}_4)^{5-}$, а в гидротермальном процессе вероятен изоморфизм ZnS и Ga_2S_3 (О. В. Вершковская, 1964).

Имеет место также изоморфизм Ga с Fe^{3+} и Fe^{2+} (если ионный радиус Ga принять $0,75 \text{ \AA}$ (?), то ионные радиусы Fe^{3+} $0,73 \text{ \AA}$ и Fe^{2+} $0,71 \text{ \AA}$ близки).

Галлий главным образом рассеян в породах и рудах различных типов и считалось, что он не дает самостоятельных минералов. В 1958 г. был установлен галлиевый минерал галлит— $CuGaS_2$, открытый в рудах месторождений Тзумеб ЮЗ Африки и Кипуши (Конго) Strunz'ем и другими (1958). Галлит содержит до 36,7% Ga . До 2% Ga содержит германит месторождения Тзумеб, состав которого $Cu_3(Ge, Ga, Fe, Zn)S_4$.

Очень обычна изоморфная примесь Ga в сфалеритах (до 0,1%), нефелине (до 0,1%), корунде (до 0,3%), алюмосиликатах типа серицита и лепидолита (до 0,02—0,03%), турмалине (до 0,02%), гидратах глинозема бокситов (до 0,01%), окисленных рудах Fe и Mn (до 0,01%), алуните (до 0,005%) и др.

Главными генетическими типами галлийсодержащих месторождений являются:

- 1) собственно магматический (нефелиновые породы);
- 2) пегматиты щелочных пород (с нефелином, содалитом, гакманитом и др.);
- 3) гидротермальный с подтипами: колчеданно-полиметаллическим, свинцово-цинковым, алунитовым;
- 4) осадочный с подтипами: бокситовый, биолитовый (угли и нефти).

ЛИТЕРАТУРА ПО ГАЛЛИЮ

- Абрамов Ф. И., Русанов А. К. Спектроскопическое исследование цинковых обманок на германий, индий, кадмий и галлий. Тр. ВИМС, вып. 141, 1939.
- Борисенко Л. Ф. О некоторых особенностях распределения галлия в гипербазитах. «Геохимия», № 8, 1963.
- Боровик С. А., Лизунов Н. В., Щербина В. В. Галлий в минералах и рудах СССР. Изв. АН СССР, сер. геол., вып. 31, 1941.
- Вершкова О. В., Краснова В. С., Салтыкова В. С., Первухина А. Е. Галлий. Методы исследований, распространение в горных породах и минералах, типы месторождений. Краткие сведения по применению и экономике галлия в зарубежных странах. Изд. АН СССР, 1960.
- Лавренчук В. Н., Теняков В. А. К вопросу о распределении галлия в бокситах. «Геохимия», № 8, 1962.
- Требования промышленности к качеству минерального сырья, вып. 53. Галлий, индий, галлий, 1961.
- Эфендиев Г. Х., Нейман-Заде Б. Галлий в важнейших сульфидах и алунитах Азербайджанской ССР. ДАН Азерб. ССР, № 8, 1947.
- Morris D. F. C., Brewer F. M. The occurrence of gallium in blende. *Geochim. et cosmochim. acta*, v. 5, № 3, 1954.
- Shaw D. M. The geochemistry of gallium, indium, thallium. A review in: „Physics and chemistry of the Earth“ v. 2. 1957.
- Strunz H., Geier B. H., Seeliger E. Gallit— $CuGaS_2$, das erste selbständige Galliummineral und seine Verbreitung in den Erzen der Tsumeb und Kipushi Mine. *Neues Jahrb. für Mineral. Monatsh.* H.¹¹/₁₂, 1958.

Германий

Предсказан Д. И. Менделеевым в 1870 г., причем им рассчитаны его свойства—атомный вес—72 и уд. вес—5,5, назван эка-силицием, так как по химическим свойствам сходен с силицием.

Установлен *Ge* в 1886 г. немецким химиком Винклером в новом минерале из рудника Химмельфюрст (Фрейберг, Саксония). Винклер обратил внимание, что при полном химическом анализе неизвестного минерала, произведенном 8 раз подряд, сумма не сходилась почти на 7%.

Анализ установил: *Ag*—74,92%; *S*—17,13%; *Fe + Zn*—0,88%; *Hg*—0,31%; возникло предположение, что в минерале присутствует еще какой-то неизвестный элемент, который был назван германием, а минерал с формулой Ag_8GeS_6 —аргиродитом. Впоследствии это предположение оправдалось, а свойства германия (атомный вес—72,6, уд. вес—5,47) почти точно совпали со свойствами предсказанного на основании периодического закона Д. И. Менделеевым эка-силиция.

Винклер вначале считал германий аналогом сурьмы, но вскоре он признал блестяще оправдавшееся предвидение великого русского химика. «Вряд ли,—писал он,—может существовать более яркое доказательство справедливости учения о периодичности элементов, чем обнаружение до сих пор предположительного эка-силиция; оно составляет, конечно, более чем простое подтверждение смелой теории, оно знаменует собой выдающееся расширение химического поля зрения, гигантский шаг в области познания».

В 1916 г. *Ge* в количестве 0,25% был обнаружен в неочищенной окиси цинка, полученной из руд штатов Миссури и Висконсин (США), а в 1920 г. были открыты богатые германием руды месторождения Тзумеб (ЮЗ Африка, горы Отави), в которых установили новый минерал—германит—с содержанием *Ge* 5—7%.

Из этих руд вскоре были получены первые 6 кг германия и начаты широкие исследования его свойств и возможных областей применения.

Германий приобрел в современной технике очень важное, незаменимое значение, в связи с чем мировое производство его только в капиталистических странах превысило 100 т в год. Главными поставщиками германия являются: США, Бельгия, ФРГ, Великобритания и ряд других стран.

Главной областью применения германия является полупроводниковая техника, где германиевые диоды и триоды, размером с кукурузное зерно с успехом заменяют громоздкие и менее надежные катодные лампы в радиоприемниках, телевизорах, счетно-решающих машинах. Германий и его соединения нашли широкое применение в фотоэлектрических приборах, радарх, полярографах, медицине (лечение злокачественного малокровия и сонной болезни).

Применяются сплавы германия с *Al*, *Mg*, *Cu*, *Pb*, *Sn*, *Ag*, *Au*, *Pt*; добавки германия в бронзах, а GeO_2 как добавка в оптических стеклах, где требуется повышение показателя преломления и дисперсии света.

Генетические типы германиеносных месторождений (по А. С. Жуковой, 1960, с дополнениями)

Генетический тип	Связь с магматическими и др. породами	Главные германиеносные минералы	Ассоциация элементов	Примеры месторождений
Пегматитовый	Граниты	Топаз, сподумен, поллуцит, касситерит	<i>Ge, Li, Cs</i>	Забайкалье
Скарновый	Гранитоиды	Гранаты, турмалин, иногда германит, реньерит, энаргит, теннантит	<i>Ge, Si, B, As, Cu</i>	Кавказ
Гидрогермальный				
а) Касситерит-турмалин-сульфидный	Гранитоиды	Касситерит, турмалин	<i>Ge, Sn, B</i>	В. Сибирь
б) Медно-молибденовый	Гранитоиды	Германит, реньерит, халькопирит, молибденит	<i>Ge, Cu, Mo</i>	Казах. ССР, Кавказ-Закавказье
в) Колчеданный	Малые интрузивы границ оидов	Германит, реньерит, энаргит, теннантит, борнит	<i>Ge, Cu, As</i>	Кавказ-Закавказье, Урал
г) <i>As—Cu</i> —полиметалл.	Гранитоиды?	Германит, сульфиды <i>Cu, Pb, Zn</i>	<i>Ge, As, Pb, Zn, Cu</i>	Тзумеб (ЮЗ Африка)
д) <i>Cu—Pb—Zn</i>	Гранитоиды?	Реньерит, сульфиды <i>Cu, Pb, Zn</i>	<i>Ge, Cu, Pb, Zn</i>	Рудник Принц Леопольд, Кипуши (Конго)
е) <i>Pb—Zn</i> телетерм.	Неясна	Сфалерит, вюртцит	<i>Ge, Zn</i>	Миссури (США), Олькуш (Польша)
ж) <i>Sn—Ag</i> субвулк.	Субвулк. порфиры	Аргиродит, канфильдит, деревянистый касситерит	<i>Ge, Ag, Sn</i>	М-ния Боливии
Осадочный	Ископаемые угли	Металлоорг. соед. <i>Ge</i> ?	<i>Ge, C</i>	М-ния СССР, ФРГ, Великобритании
	Осадочно-метаморф. м-ния <i>Fe</i> руд		<i>Ge, Fe</i>	Казах. ССР
	Медистые сланцы и песчаники	Изом. примесь в сульфидах	<i>Ge, Cu, Zn, Pb, As, Re</i>	Мансфельд (ГДР) и др.

Соединения германия служат катализаторами в установках по гидрогенизации каменного угля.

Эвтектический сплав Au с Ge (12%) применяется в ювелирном и зубоврачебном деле, а тройные сплавы $Au-Cu-Ge$ —для пайки золотых изделий. Небольшая примесь Ge к Al и Mg облагораживает эти металлы (повышает их твердость, ковкость и прокатываемость, сопротивление коррозии и усталости).

Металлический Ge с $d=5,47$ и температурой плавления $937^{\circ}C$ имеет твердость 6,25, очень хрупок, обладает свойствами металла и металлоида.

Кларк $Ge=0,0002\%$ (А. П. Виноградов, 1956).

В природных соединениях известны Ge^{2+} и Ge^{4+} с ионными радиусами соответственно $0,65 \text{ \AA}$ (для Ge^{2+} , что близко к ионным радиусам Zn , Sn^{4+} , Fe^{3+} , Mo^{4+} , Ti^{4+} , As^{3+} , Ga^{3+} , Li) и $0,44 \text{ \AA}$ (для Ge^{4+} , что близко к $Si=0,42 \text{ \AA}$).

Двуокись германия— GeO_2 —дает две модификации, из которых одна имеет структуру рутила, а другая—низкотемпературного кварца. По величине атомного радиуса ($1,39 \text{ \AA}$) германий близок к Ga , Zn , As , Mo (Si , Ti).

Геохимическое поведение германия сложно—он проявляет себя разно—то как сидерофильный, то литофильный, то халькофильный элемент, рассеянный соответственно в метеоритах и железных рудах, силикатах, сульфидах. Минералов-носителей германия известно более 70, из которых половина силикаты (гранаты, слюды, полевые шпаты и др.), остальные главным образом сульфиды и подсобные им соединения, окислы и гидроокислы.

Собственных минералов германия с содержанием Ge от 1,8 до 29% известно 9, из которых значительные промышленные концентрации в рудах дают только германит и реньерит, остальные же имеют небольшое распространение.

	Ge , %
Германит $Cu_3(Ge, Fe, Ga, Zn)S_4$	6—10
Реньерит $(Cu, Fe, Ge, Zn, Sn, As)S$	5,5—7,7
или $Cu_3(Fe, Ge)S_4$	
Аргиродит Ag_8GeS_8	3,6—7
Канфильдит $Ag_8(Sn, Ge)S_8$	до 1,8—2
Ультрабазит $Pb_{28}Ag_{22}Sb_4Ge_3S_{51}$	до 2,2
Стоттит $Fe[Ge(OH)_6]$	29

Среди минералов-носителей германия наибольшее содержание его имеют: сфалерит и вюртцит (до десятых долей % Ge), энаргит и люцонит (до 0,5%), деревянистый касситерит (десятые доли %), сульванит (0,1 %), пираргирит (до 1%), франкеит (0,1%); содержат повышенные количества Ge также: миметезит (0,05%), халькопирит (0,04%), касситерит (0,02%), топаз (0,02%), турмалин (0,01%), сподумен (0,01 %), лепидолит (0,01 %), поллуцит (0,01 %), гематит (0,008 %), кварц (0,005 %) и ряд др.

В эндогенных условиях германий концентрируется главным образом в среднетемпературных—низкотемпературных месторождениях полиметаллических руд, в особенности залегающих среди карбонатных пород (не имеет места рассеивание *Ge* в силикатах и кварце), обогащенных светлоокрашенными и колломорфными сфалеритом и вюртцитом или энаргитом, теннантитом, борнитом. В гипергенных условиях *Ge* концентрируется иногда в зоне окисления сульфидных руд, обогащенных германием (стоттит в зоне окисления месторождения Тзумеб), в углях, сланцах, а также в осадочных и осадочных метаморфизованных рудах железа.

Наибольший практический интерес для промышленности представляют ныне германиеносные угли, телетермальные *Pb—Zn* месторождения и месторождения полиметаллических (*Cu—As—Pb—Zn*) руд. Значительные перспективы имеют осадочные метаморфизованные месторождения железных руд, колчеданные, медно-молибденовые и *Sn—Ag—* полиметаллические субвулканические месторождения.

Более полная характеристика типов германиеносных месторождений приведена в табл. 7.

ЛИТЕРАТУРА ПО ГЕРМАНИЮ

- Абрамов Ф. И. и Русанов А. К. Спектроскопическое исследование цинковых обманок на германий, индий, кадмий и галлий. ВИМС, вып. 141, ГОНТИ, 1939.
- Бруэр Ф. М., Кокс Д. Д., Моррис Д. Ф. К. Нахождение германия в цинковых обманках. РЖ, геол., № 6, 1956.
- Воынский И. С., Логинова Л. А. Сравнительная количественная характеристика оптических постоянных некоторых «розовых» сульфидов. Тр. ИМГРЭ АН СССР, вып. 6, 1961.
- Гинзбург А. И. Некоторые вопросы геохимии германия и поисковые признаки богатых германием руд. Сб. «Геология месторождений редких элементов», вып. 5. Госгеолтехиздат, 1958.
- Гинзбург А. И., Смирнов Ф. Л., Чернышова Л. В. Минералы германия и их месторождения. «Геология и минералогия редких элементов», вып. 5, 1959.
- Гольдшмидт В. М., Петерс К. К. К геохимии германия Сб. ст. по геохимии редких элементов. ГОНТИ, 1938.
- Гордон С. А., Сапрыкин Ф. Я. Распределение германия и галлия в буром угле. Научные труды Моск. горн. ин-та, сб. 27, 1959.
- Гуляева Л. А., Лосицкая И. Ф. Исследование содержания германия в нефтях Советского Союза. «Геохимия», № 2, 1959.
- Дехтрикян С. А. К методике определения малых количеств германия в рудах и минералах. Изв. АН Арм. ССР, геол.-географ. науки, т. X, № 4, 1957.
- Дехтрикян С. А. К определению германия в молибденитах и других сульфидах, ДАН Арм. ССР, т. 28, № 5, 1959.
- Джонсон О. Германий и его соединения. «Успехи химии», т. XXV, № 1, 1956.
- Жукова А. С. К геохимии германия. Тр. ИМГРЭ АН СССР, вып. 3, 1959.
- Жукова А. С. К вопросу о генетических типах германиеносных месторождений. Тр. ИМГРЭ АН СССР, вып. 4, 1960.
- Каленов А. Д., Аникеева В. И., Маслеников С. Б. Германиевые минералы в медноколчеданных рудах. ДАН СССР, т. 194, № 3, 1963.
- Карамян К. А. Германит и реньерит в рудах Дастакертского медно-молибденового месторождения. Зап. Арм. отд. ВМО, вып. 1, 1959.

- Карпетян А. И. Количественная характеристика оптических постоянных реньерита и германита. ДАН Арм. ССР, т. 1, XXXIII, № 3, 1961.
- Логинова Л. А. Опыт измерения оптических постоянных германита и реньерита. Тр. ИМГРЭ АН СССР, вып. 4, 1960.
- Ломашов И. П., Лосьев Б. И. Германий в ископаемых углях. Изд. АН СССР, 1962.
- Максимов А. А. Германий в железо-марганцевых месторождениях Центрального Казахстана. Изв. ВУЗов, сер. «Геол. и разведка», № 1, 1958.
- Момджи Г. С., Григорьев В. М. Оценка железных руд на редкие и рассеянные элементы. «Разведка и охрана недр», № 3, 1961.
- Пиджян Г. О. Германьевые минералы и германиеносные сульфиды одного медно-молибденового месторождения. ДАН Арм. ССР, т. 30, № 3, 1960.
- Погребницкий Е. О. О некоторых закономерностях распределения германия в углях Донецкого бассейна. Зап. Лен. горного ин-та, 35, вып. 2, 1959.
- Требования промышленности к качеству минерального сырья, вып. 57, «Германий». Госгеолтехиздат, 1948.
- Хачатурян Э. А. О минералогическом составе руд Кафанского медного месторождения. Изв. АН Арм. ССР, геол. и геогр. науки, т. 11, № 6, 1958.
- Хуришдьян Э. Х., Геворкян С. В. К вопросу о рентгенометрической диагностике реньерита. ДАН Арм. ССР, т. 35, № 2, 1962.
- Щербак О. В. О механизме накопления германия в железных рудах и углях. Сб. «Минеральное сырье», вып. 6, 1962.
- Эль-Вардани С. А. Геохимия германия. В сб. «Геохимия редких элементов», ИЛ, 1959.
- Эфендиев Г. Х. К геохимии германия. Изв. АН Азерб. ССР, физ.-техн. и хим. науки, № 1, 1958.
- Gastinger E. Forschungsrichtungen in der Chemie des Germaniums. Forsch. der chem., Forsch. 3, H. 3, 1955.
- Levy Cl., Pruvost I. Rapport entre la chalcopirite, la stannite, la renierite et la germanite. Bull. soc. frans. de mineral et cristall. t 80, № 1—3, 1957.
- Murdoch I. X-ray investigation of colusite, germanite and renierite Amer. mineralogist, v. 38, 1953.
- Sclar C. B., Geier V. H. The paragenetic relationships of germanite and renierite from Tsumeb, South-West Africa. Econ. Geol., v. 52, № 6, 1957.
- Vaes I. F. La renierite (anciennement appelee „bornite orange“). un sulfure germanifere provenant de la mine Prince-Léopold, Kipushi (Congo Belge). Ann. Soc. géol. Belgique, 72, № 1—2, 1948.

И н д и й

Установлен в 1863 г. немецкими физиками Ф. Рейхом и Т. Рихтером при спектральном анализе сфалерита из Фрейберга и назван так по индигово-синим линиям спектра. Индиевые сплавы применяются в регулирующих стержнях ядерных реакторов, а сплав состава $In-Cd-Bi$ как защитный материал в ядерных реакциях (поглощает нейтроны). Как добавка к германию индий широко применяется в полупроводниковой технике, сообщая германию дырочный тип проводимости (в германиевых диодах и триодах). В предохранительных устройствах различных типов применяются легкоплавкие сплавы индия, среди которых наиболее низкую температуру плавления, $16^{\circ}C$, имеет сплав состава $24\% In + 76\% Ga$.

Сплавы индия с Au , Ag , Pd , Cu используются в ювелирных изделиях, сплав с Hg в зубо врачебных амальгамах и зубных протезах. Высокая отражательная способность металлического индия используется в

Таблица 8

Основные типы индиеносных месторождений (по Иванову В. В. и Лизунову И. В., с дополнениями)

Генетический тип	Связь с магматич. и др. породами	Главные <i>In</i> -содержащие минералы	Ассоциация элементов	Примеры месторождений
Собственно магмат. Пегматиты Скарновый Гидротермальный а) Подметаллич. б) Сульфидно-касситеритовый в) Колчеданный г) Деревянистый касситерит Осадочный	Граниты Граниты Гранитоиды Гранитоиды Малые интрузивы гранитоидов Риолиты и кварц-порфиры а) Лимонитовые руды б) Диктионемовые сланцы	Касситерит Касситерит Сфалерит, касситерит Сфалерит, галенит, пирротин, касситерит Касситерит, станнин, сфалерит, сульфостаннаты Сфалерит, халькопирит, галенит Деревянистый касситерит Изоморфная примесь	<i>In, Sn, Ta, Nb</i> <i>In, Sn, Ta, Nb</i> <i>In, Sn, Zn, Cd, Fe</i> <i>In, Zn, Pb, Fe, Sn</i> <i>In, Sn, Zn</i> <i>In, Zn, Cu, Pb, Fe</i> <i>In, Sn, As</i> <i>In, Fe</i> <i>In, C</i>	Нигерия Африка, СССР Сибирь, Ср. Азия Сулливан (Канада) В. Сибирь, Забайкалье, Ю. Китай, Боливия Урал, Кавказ—Закавказье В. Сибирь СССР СССР

отражателях прожекторов и в сетках оптики телескопов, а антикоррозионные его свойства—в покрытиях подшипников и цветных металлов подводных частей военных судов, что предохраняет их от разъедания морской водой.

Соединения индия (окись и сернистые соединения) добавляют к стеклу для его окраски в янтарные цвета с оттенками от светло- до темно-желтых.

Термоэлементы из арсенида и фосфида индия обеспечивают непосредственное превращение тепловой энергии в электрическую, а сурьмянистый индий и интерметаллические его соединения находят применение в инфракрасной технике и в приборах для ночного видения.

Ежегодное производство индия в капиталистических странах превысило 30 т и приходится главным образом на Канаду и США, частью на ФРГ, Бельгию, Италию, Японию, Перу, ГДР и др.

Кларк *In* составляет 0,00001% (А. П. Виноградов, 1962), элемент халькофильный и сидерофильный.

Металлический индий имеет уд. вес 7,31, температура плавления 155°C.

По своим кристаллохимическим свойствам индий близок к *Zn*, *Sn*, *Fe*²⁺, *Pb*, *Cu*, *Ga*, *Tl*, *Mn*, *Co*.

Ионный радиус *In*³⁺ 0,92 Å, что близко к ионным радиусам *Zn*, *Fe*²⁺, *Cu*²⁺, *Sc*³⁺ (для всех четырех=0,83 Å), *Mn* (0,91 Å), *Cu* (0,96 Å), *Sn* (1,02), *Ti* (1,05).

С учетом главных физико-химических свойств элементов В. В. Иванов (1964) построил «геохимическую звезду» индия, которая подчеркивает наибольшую его близость с *Sn* и *Cd*, затем с *Fe*, *Ga*, *Tl* и несколько меньшую с *Zn*, *Cu* и *Pb*. Индий типичный рассеянный элемент, чаще всего присутствующий в количестве до 0,1%, изредка больше в сфалеритах, касситерите, сульфостаннатах и других минералах.

Так, в сфалеритах содержание индия достигает 0,05—1%, в касситерите 0,6% (в деревянистой разности), франкeite 0,05—0,5%, станнин 0,01—0,15%, халькопирите 0,005—0,1%, бурноните 0,01—0,3%, борните 0,001—0,1% и т. д.

Во многих случаях индий изоморфно замещает *Fe*²⁺ и наличие железа в решетке минерала благоприятствует вхождению в его состав индия (железистые темные сфалериты, железистые касситериты и другие обогащены индием); индий изоморфно замещает также *Zn*, вероятно, *Cu* и ряд других элементов. Самостоятельные минералы индия редки и обнаружены главным образом в последние годы (1963), это:

	<i>In</i> , %
Самородный индий <i>In</i>	до 95—100
Рокезит <i>CuInS₂</i>	47,4
Индит <i>FeIn₂S₄</i>	59,3
Джалиндит <i>In(OH)₃</i>	около 70

Наиболее реальными источниками попутного получения индия являются гидротермальные полиметаллические и сульфидно-касситерито-

вые месторождения, в которых индий изоморфно связан со сфалеритом, касситеритом, сульфостаннатами. В экзогенных условиях индий концентрируется иногда в гидроокислах железа, диктионемовых сланцах, возможно также в некоторых типах месторождений железа и углей (?). Более полная характеристика основных типов индиеносных месторождений приведена в табл. 8.

ЛИТЕРАТУРА ПО ИНДИЮ

- Андерсен Дж. С. Геохимия индия. В кн.: Геохимия редких элементов. ИЛ, 1959.
- Блешинский С. В., Абрамова В. Ф. Химия индия, 1958.
- Генкин А. Д., Муравьева И. В. Индит и джалиндит—новые минералы индия. Зап. ВМО, ч. 92, вып. 4, 1963.
- Иванов В. В., Волгин В. Ю., Лизунов Н. В. О закономерностях размещения концентраций индия. В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых. Изд. АН СССР, т. 3, 1960.
- Иванов В. В., Волгин В. Ю. Новые данные о природных концентрациях индия. ДАН СССР, 130, № 2, 1960.
- Иванов В. В. Минералого-геохимические черты и индиеносность оловорудных месторождений Якутии. Изд. «Наука», 1964.
- Ициксон М. И. и Русанов А. К. Индий в оловорудных месторождениях Дальнего Востока. ДАН СССР, т. III, № 7, 1946.
- Ициксон Г. В., Рундквист Д. В., Павлова И. Г. и другие. Оловорудные месторождения Малого Хингана—Геология, вещественный состав, генезис. Изд. ВСЕГЕИ, 1959.
- Кузнецов К. Ф. Индий в сульфоантимонитах свинца. Тр. ИМГРЭ, вып. 10, 1963.
- Прокопенко Н. М. Основные этапы в истории индия в земной коре. ДАН СССР, 31, № 9, 1941.
- Прокопенко Н. М. Поисковые признаки на индий. ДАН СССР, т. 31, № 1, 1941.
- Прокопенко Н. М., Боровик С. А., Влодавец Н. И., Лизунов Н. В. Геохимия индия, 1953 (рукопись в библиот. ИМГРЭ).
- Требования промышленности к качеству минерального сырья, вып. 53. Таллий, индий, галлий, 1961.
- Шоу Д. М. Геохимия индия. В кн. «Геохимия редких элементов». ИЛ, 1950.
- Kleinert R. Indium from Rammelsberg ores. Min. Mag. v. 83, № 3, 1950.
- Picot P., Pierrot R. La roquèsite, premier mineral d'indium: CuInS_2 —Bull. Soc. franc. minéral. et crist. 86, № 1, 1963.
- Shaw P. M. The geochemistry of indium. geoch. et cosmoch. Acta, № 3, 1956.

Таллий

Открыт в 1861 г. английским ученым У. Круксом при спектральном анализе отходов серноокислотной установки в Гарце. Назван таллием по ярко-зеленому цвету линии в спектре (thallus по латыни—зеленый).

Применяется в качестве добавки к подшипниковым сплавам, в полупроводниковых материалах, фотоэлементах и других приборах, работающих в инфракрасной части спектра (таллофидные элементы, применяемые в авиации).

Некоторые соединения таллия сильно ядовиты и применяются в качестве ядохимикатов в сельском хозяйстве.

Мировое производство таллия в капиталистических странах, ежегодно составляет до 20 т, главным образом в США и ФРГ.

Таблица 9

Основные генетические типы концентраций галлия (по В. В. Иванову, с дополнениями)

Генетический тип	Связь с магмат. и другими породами	Главные Tl-содержащие минералы	Ассоциации элементов	Примеры месторождений
Собственно магматический	Граниты	Амазонит, слюды	<i>Tl, K, Cs, Rb</i>	Казах. ССР
Пегматитовый	Граниты	Амазонит, слюды, поллуцит	<i>Tl, K, Li, Cs, Rb</i>	Европ. часть СССР
Грейзеновый	"	Слюды	<i>Tl, Li, Rb,</i>	Сибирь
Гидротермальный	Малые интр. гранитсидов	Сфалерит, пирит, галенит, марказит, серицит	<i>Tl, Zn, Fe, Pb</i>	Урал, Алтай
а) Колчеданный	"	Марказит, сфалерит, галенит	<i>Tl, Zn, Fe, Pb</i>	Кавказ-Закавказье, Каз. ССР
б) Свинцово-цинковый	"	Галенит, менегинит, буланжерит, геокронит	<i>Tl, Pb, Sb, Cu</i>	Забайкалье
в) Сульфоантимонитовый	"	Марказит, пирит, лорандит, вробаит, галенит, сфалерит	<i>Tl, As, Sb, Fe, Zn, Pb</i>	Кавказ, Зап. Европа
г) Собственно талиевый	"	Пирит, марказит, лорандит, реальгар, аурипигмент	<i>Tl, As, Sb, Hg, Fe</i>	Аллар (Македония), Ср. Азия
д) <i>Sb—As—Hg—Tl</i>	"	Пиролюзит, псиломелан, манганит и др.	<i>Tl, Mn</i>	Закавказье, Турция и др.
Вулканоогенно-осадочный	Порфириды, мергели, туфопесчаники	Пиролюзит, браунит, псиломелан	<i>Tl, Mn</i>	Джезды (Казах. ССР)
Осадочный	Кремнистые осадки	Карналлит	<i>Tl, K, Mg, Rb, Cs</i>	Верхнекамское, Стас-сфурт и др.
а) Марганцевый	Соленосные осадки			
б) Карналлитовый				

Кларк Tl — 0,0001% (А. П. Виноградов, 1962).

По многим кристаллохимическим свойствам таллий сходен с Pb , Ag , а также со щелочными металлами — K , Rb , Cs .

Металлический таллий имеет уд. вес 11,85 (при 20°C), температуру плавления 303°C, твердость 3.

По своему ионному радиусу (1,49 Å) таллий наиболее близок к калию (1,33 Å), рубидию (1,59 Å), а также свинцу (1,26 Å). Главные концентрации таллия приурочены к гидротермальному процессу, где он является халькофильным элементом и дает соединения с S , As , Sb , Se , Te .

В гипергенных процессах таллий изоморфно замещает калий и рубидий в солях и, вероятно, K в гидроокислах марганца (псиломелане, пиролюзите и др.).

Самостоятельные минералы таллия редки и немногочисленны и только в отдельных случаях образуют заметные концентрации. К ним относятся:

	Tl , %
Лорандит $TlAsS_2$	60
Врбаит $Tl(As, Sb)_3S_5$	до 32
Круксит $(Cu, Tl, Ag)_2Se$	до 17

В виде изоморфной примеси Tl очень обычен в пирите и марказите, сфалерите, галените, в особенности в их колломорфных разностях, выпадающих к концу рудного процесса.

Минералов-носителей таллия известно более 500, из них отметим: калиевые полевые шпаты (Tl до 0,02%), мусковит, лепидолит и биотит (до 0,02—0,04%), галенит (до 0,05—0,1%), пирит и марказит (до 4,5%), поллуцит (до 0,1—0,2%), сфалерит (до 0,05%), халькопирит (до 0,003%), реальгар, аурипигмент (до 0,1—0,2%), пиролюзит и псиломелан (до 0,01% и больше).

В минералах-носителях таллий образует две ассоциации:

- 1) Tl , K , Rb , Cs — в силикатах и галоидах;
- 2) Tl , As , Sb , Ag — в сульфидах и сульфосолях.

Концентрации таллия имеют место в амазонитовых гранитах, пегматитах и грейзенах, но они обычно невелики.

Наиболее значительные запасы таллия и сравнительно высокие его содержания характерны для гидротермальных низкотемпературных месторождений, расположенных в пределах Средиземноморского альпийского металлогенического пояса (Балканы, Кавказ и др.).

Более полная характеристика основных генетических типов концентраций таллия приведена в табл. 9.

ЛИТЕРАТУРА ПО ТАЛЛИЮ

- Боришанская С. С., Воскресенская Н. Т., Карпова И. С. Минеральная форма нахождения таллия в сфалеритах Верхней Квайсы.—Научные доклады высшей школы, геол.-геогр. науки, № 4, 1958.
- Воскресенская Н. Т., Титкова Н. Ф., Шуляковская Н. С., Цзинь-Цуй-ин. К геохимии таллия, рубидия и лития в магматическом процессе. «Геохимия», № 3, 1962.

- Иваницкий Т. В., Гварамадзе Н. Д. К вопросу содержания и распространения некоторых рассеянных элементов в главнейших сульфидах свинцово-цинковых и полиметаллических месторождений Грузии. «Геохимия», № 2, 1960.
- Иванов В. В. Некоторые поисковые признаки на таллий. «Разведка и охрана недр», № 11, 1958.
- Иванов В. В., Волгин В. Ю. Некоторые черты геохимии таллия и типы месторождений благоприятные для его концентрации. Тр. ИМГРЭ АН СССР, вып. 3, 1959.
- Иванов В. В., Волгин В. Ю., Краснов А. А., Лизунов Н. В. Таллий. Основные черты геохимии и минералогии, генетические типы месторождений и геохимические провинции. Изд. АН СССР, 1960.
- Тихомирова В. В. Таллий в сурьмяно-ртутных месторождениях. В кн. «Минеральное сырье», вып. 1, 1950.
- Требования промышленности к качеству минерального сырья, вып. 53. Таллий, индий, галлий. Госгеолтехиздат, 1961 (изд. второе).
- Шоу Д. М. Геохимия таллия. В кн. «Геохимия редких элементов», ИЛ, 1950.
- Shaw D. M. The geochemistry of thallium. Geoch. et cosmochim. acta 2, № 2, 1952.

Рений

В 1871 г. Д. И. Менделеев, на основе открытого им периодического закона химических элементов, предсказал наличие в природе нового элемента—«двигмарганца», кратко описал вероятные свойства, поместив его в периодической таблице элементов под № 75, в подгруппе марганца.

В 1887 г. русский химик С. Керн сообщил об открытии им нового химического элемента со свойствами, близкими к двигмарганцу в платиновых остатках уральских руд и назвал этот элемент дэвием.

В 1925 г. почти одновременно появились сообщения немецких химиков В. Ноддак, И. Таке и О. Берга, установившими присутствие двигмарганца в самородной платине и колумбите, и чешских ученых И. Друже, Ф. Лоринга, Я. Гейровского и других относительно установления ими двигмарганца в неочищенных марганцевых препаратах.

Первооткрывателями нового элемента считаются В. и И. Ноддак, которые впервые получили из самородной платины и колумбита 50 мг осадка, содержащего 5% нового элемента, названного ими рением (по р. Рейн и Рейнской области Германии).

Рений, обладающий необыкновенно удачным сочетанием физических и химических свойств, начинает приобретать важное значение в современной технике.

Мировое производство металла в капиталистических странах пока невелико и составляет всего около 1 т в год (главным образом в США, ГДР, ФРГ), но в ближайшие годы планируется резкое увеличение мирового производства рения до десятков тонн в год.

Рений—один из самых тяжелых металлов (уд. вес 21), температура плавления $3180 \pm 20^\circ\text{C}$, кислотоупорен, дает сверхтвердые и тугоплавкие сплавы с Ta, W, Mo, Be и другими. Сплав Re—Ta с температурой плавления 4400°C является самым тугоплавким среди известных. На этих свойствах основано его применение в современной технике в авиационном и ракетостроении, точном приборостроении, электронной, радиотехнической, электровакуумной промышленности.

Применяются термопары: $Pt-Re/Pt$; $Pd-Re/Pd$; $Ir-Re/Ir$; $Rh-Re/Rh$ и другие, имеющие электродвижущую силу в 3—4 раза больше, чем термоэлементы из благородных металлов.

Термоэлементы состава $Re-Mo$ и $Re-W$ ($W+15-20\% Re$) применяются в контактах магнето судовых и других двигателей. Соединения рения служат катализаторами в химической промышленности, а перренат натрия используют при лечении злокачественных опухолей.

Широко используются рениевые покрытия вольфрамовых нитей накаливания и рений, как заменитель металлов группы платины.

Рений—типичный рассеянный металл с очень низким кларком, составляющим десятиллионные доли процента (по И. и В. Ноддак, $1 \cdot 10^{-7}\%$; по С. М. Баситовой, $5-6 \cdot 10^{-7}\%$). По ряду кристаллохимических свойств рений близок к металлам группы платины, вольфраму, марганцу и в особенности к молибдену, что и определяет ассоциацию рения с этими металлами в природе.

Радиус атома Re 1,37 Å (для Mo 1,40 Å, Mn 1,30 Å).

Радиусы ионов разных валентностей Re , Mo и Mn приведены ниже в ангстрёмах:

Re^{4+}	0,68	Mo^{4+}	0,68	Mn^{2+}	0,91
Re^{6+}	0,52	Mo^{6+}	0,65	Mn^{3+}	0,70
Re^{7+}	0,55			Mn^{4+}	0,52

Наиболее устойчивые валентности рения в природных условиях Re^{4+} и Re^{7+} . Известны два изотопа рения — Re^{185} (62,9 %) и Re^{187} (37,1 %). Изотоп Re^{187} радиоактивен с периодом полураспада $5 \cdot 10^{10} - 10^{11}$ лет и переходом в осмий: $Re_{75}^{187} \rightarrow Os_{76}^{185} + \beta$.

В рудах гидротермального генезиса, связанных с гранитоидами, рений постоянно сопутствует молибдену (в молибдените); по данным В. и И. Ноддак молибденит содержит от 1—2 до 100 г/т Re ; однако дальнейшие детальные исследования многих авторов доказали, что содержание Re в молибденитах может доходить до десятых долей процента (т. е. несколько кг/т Re) и даже 1,88% (максимальное содержание, установленное в рудах одного проявления на Кавказе). Однако рений связан не только с молибденом. Так, в некоторых медных рудах содержания Mo и Re примерно равны и достигают десятых долей процента; рений связан здесь не с молибденитом, а с наличием самостоятельных минералов рения, из которых один—джезказганит—доказан.

Рений содержится также в медных концентратах медно-молибденовых месторождений (обычно не более 1 г/т), в медистых сланцах, рудах W , $Ta-Nb$, минералах группы Pt , окислах марганца (до 1—2 г/т), рудах урана, редкоземельных силикатах (гадолинит, альвит, тортвейтит), селенидах, а также в битуминозных осадочных породах и углях.

Очень низкие содержания рения (до 0,1, изредка 1 г/т) установлены в последнее время в халькопирите медноколчеданных руд. Среди собственных минералов рения достоверно установлен пока один—джезказганит состава $Cu(Re, Mo)_4S_4$ с содержанием 40—50% Re , 15—20% Cu , около 10% Mo (Вишневская, 1961; Поплавко и другие, 1962). Предпо-

Таблица 10

Основные типы ренийносных месторождений

Генетический тип	Связь с магмат. и др. породами	Главные минералы, содержащие рений	Ассоциация элементов	Примеры месторождений
Пегматитовый	Граниты	Гадолинит, тортвейтит	<i>Re, Y, Sc, Be</i>	Финляндия
Скарновый	Гранитоиды	Молибденит, шеелит (?)	<i>Re, Mo, W</i>	Кавказ
Грейзеновый	Граниты	Молибденит, вольфрамит	<i>Re, Mo, W, Be</i>	Казах. ССР
Гидротермальный				
а) Кварц-молибденит-серицитовый тип	Гранитоиды	Молибденит	<i>Re, Mo</i>	Казах. ССР
б) <i>Cu—Mo</i> тип	.	Молибденит (халькопирит)	<i>Re, Mo, Cu</i>	Кавказ-Закавказье, Ср. Азия, Каз. ССР
Телетермальный	Медистые песчаники низкотемпер. гидротерм. или осадочного генезиса	Джезказганит (борнит, халькопирит, халькозин, галенит, сфалерит)	<i>Re, Cu, Mo, Pb, Zn</i>	Джезказган (Казах. ССР)
Вулканогенно-осадочный	Порфириты, мергели	Пиролюзит, псиломелан, браунит	<i>Re, Mn, Tl</i>	Закавказье, Казах. ССР
Осадочный				
а) Медистые сланцы	Медистые битуминозные сланцы	Молибденит, м. б. <i>ReS₂</i> (?)	<i>Re, Cu, Mo</i>	Мансфельд
б) <i>V—Mo—U</i> -носные песчаники	Песчаники с минерализ. <i>V, Mo, U</i>	Ильземанит, <i>Re₂O₇</i> (?)	<i>Re, U, Mo, V, Cu</i>	Шт. Аризона (США)
в) Угисто-кремнистые сланцы, угли	Угисто-кремнистые сланцы с <i>V</i> и <i>U</i> минер.	Металлоорг. соединения, иордизит (?)	<i>Re, V, U, C</i>	Европ. часть СССР

жительно описываются сульфид рения $ReS_2(?)$ (Шуллер, 1959) и оксид рения Re_2O_7 (Петерсон и другие, 1959).

Минералов-носителей рения известно более 50, причем среди них следует назвать: молибденит (0,001 до 1,88% Re), колумбит (до 0,0002%), осмистый иридий (0,0001%), халькопирит (до 0,002%), псиломелан (0,0002%), гадолинит (до 0,0001%) и др.

Основным источником получения рения служат молибденитовые концентраты, а в перспективе большое значение должны приобрести медные концентраты месторождений типа Джекзакгана.

Следует отметить, что содержание рения в молибденитах гидротермальных месторождений повышается с понижением температуры образования руд, достигая максимума в низкотемпературных близповерхностных месторождениях.

Более полная характеристика генетических типов рениеносных месторождений приведена в табл. 10

ЛИТЕРАТУРА ПО РЕНИЮ

- Анисимов Б. С. Идентификация рения капельным методом, ЖНХ, 17, 658—9 (1944).
- Бадалов С. Т., Баситова С. М., Габдунова Л. И. Распределение рения в молибденитах Средней Азии. «Геохимия», № 9, 1962.
- Баситова С. М. Распространение рения в молибденитах. В кн. «Рений», Издат. АН СССР, 1961.
- Бибикова В. И. Рений в пылях молибденового цеха Балхашского завода. «Цветные металлы», № 4, 1946.
- Вендельштейн Е. И., Херсонская З. Д. «Рений», Изд. АН СССР, 1961.
- Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. Изд. АН СССР, 1957, стр. 204.
- Вишневецкая Л. М., Зак С. Ш., Поплавко Е. М. О рениеносных свинцово-медных рудах Джезказганского месторождения. «Геология рудных м-ний», № 6, 1961.
- Горохова В. Н. Рений в молибденовых и медно-молибденовых м-ниях. Тр. ИМГРЭ, вып. 10, 1963.
- Горохова В. Н., Покровская В. Л. Генетические типы месторождений рения. В кн. «Рений». Изд. «Наука», 1964.
- Джаффи Р., Мейкат Д. Дж., Дуглас Р. У. Рений и тугоплавкие металлы платиновой группы. ИЛ, 1963.
- Друцце И. Рений. Дви-марганец, элемент с атомным номером 75. Перев. с англ. ИЛ, 1951.
- Жиров К. К., Иванова Г. Ф. Распределение рения в молибденитах м-ний ряда генетических типов. «Геохимия», № 6, 1959.
- Иванов В. В., Поплавко Е. М., Горохова В. Н. Геохимия рения. Изд. «Наука», 1969.
- Карамян К. А. О корреляции рения, селена и теллура в молибденитах Каджаранского медно-молибденового месторождения. «Геохимия» № 2, 1962.
- Коган Б. И., Росс С. А. Рений в зарубежных странах. В кн. «Рений». Издат. АН СССР, 1961.
- Кронман Е. С. Выделение рения и его промышленное производство. Минер. сырье, 6, 945—55 (1931).
- Кронман Е. С. Рений. ГХТИ, 1932.
- Кузнецова В. В., Сауков А. А. О возможных формах нахождения молибдена и рения в углях Средней Азии. «Геохимия», № 9, 1961.
- Лебедев К. Б. Рений. Металлургиздат, 1963.
- Магакьян И. Г., Пиджян Г. О., Фармазян А. С. Особенности поведения рения в мо-

- либденитах месторождений медно-молибденового пояса. Арм. ССР. Тр. II Всес. совещ. по рению. Сб. Рений. Изд. «Наука», 1964.
- Максай Л. И., Плотников В. И. Сб. «Рений». Изд. «Наука», 1964.
- Мозаровский В. Г. О связи рения и селена в молибденитах Каджаранского месторождения. «Геохимия», № 6, 1963.
- Наркелюн Л. Ф. Некоторые особенности вещественного состава сульфидных руд Джезказганского месторождения. В кн. «Большой Джезказган», т. 4. «Добыча и переработка руд». Тр. объедин. научной сессии по проблемам развития производительных сил Джезказганского промышленного района, состоявшейся 26 марта—1 апреля 1961 г. в Алма-Ате. Издат. АН Каз. ССР, 1963.
- Ноддак И., Ноддак В. Геохимия рения. В кн. «Основные идеи геохимии», вып. 2, Изд. ОНТИ, 1935.
- Оболончик В. А. Рений. Издат. АН Укр. ССР, 1961.
- Покалов В. Т. О форме нахождения рения в молибдените. Минер. сырье, вып. 7, 1963.
- Поплавко Е. М., Марчукова И. Д., Зак С. Ш. Рениевый минерал в рудах Джезказганского месторождения. ДАН СССР, 146, № 2, 1962.
- Поплавко Е. М. Формы нахождения рения в сульфидах Джезказгана, «Геохимия», № 1, 1967.
- Разенкова Н. И., Поплавко Е. М. К вопросу о форме нахождения рения в рудах Джезказганского месторождения. «Геохимия», № 8, 1963.
- Рузматов С. Р. Редкие и рассеянные элементы медно-молибденовых месторождений Алмалыкского рудного поля. Автореферат канд. дисс., 1961.
- Сатпаева Т. С., Калинин С. К., Файн Е. Е. О содержании рения в медных рудах Джезказгана. Вестн. АН Казах. ССР, № 5, 1959.
- Сатпаева Т. А., Калинин С. К., Сатпаева М. К. и другие. Особенности проявления рения в рудах Джезказганского месторождения. Вестн. АН Каз. ССР, № 12 (213), 1962.
- Студенникова З. В., Золотарева В. А. Рений в молибденитах месторождения Тырны-Ауз. «Геохимия», № 1, 1958.
- Тараян В. М. Аналитическая химия рения. Издат. «Митк», Ереван, 1966.
- Фарамазян А. С. Закономерности распределения рения в рудах Каджаранского месторождения. Изв. АН Арм. ССР, геол. и геогр. науки, 14, № 1, 1961.
- Фарамазян А. С., Хуришудян Э. Х. К вопросу об изморфизме между молибденом и рением в молибденитах. ДАН Арм. ССР, т. 37, № 4, 1963.
- Холодов В. Н. Урано-селено-ванадиево-рениевые месторождения. В кн. «Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов», т. III, Издат. «Наука», 1966.
- Хрущов Н. А., Круглова В. Г., Панкова В. Е., Пенсионерова В. М., Розовская Г. В. Распределение рения, селена и теллура в молибденитовых месторождениях Сов. Союза. Сб. «Минеральное сырье», вып. 1, 1960.
- Хрущов Н. А., Буткевич Т. В. Требования промышленности к качеству минерального сырья, вып. 27. Молибден и рений. Госгеолтехиздат, 1960 (изд. второе, перераб.).
- Хуришудян Э. Х. К вопросу об условиях образования ромбоэдрической модификации молибденита. ДАН СССР, № 1, т. 171, 1966.
- Briscoe H. V. A., Robinson P. L., Stoddart E. M. The sulphides and selenides of rhenium. J. Chem. Soc. N 1439, 1931.
- Druce I. G. F. Search for element 93. Part I—Examination of crude manganese compounds and the isolation of the element of atomic number 75, Chem. News, 131 (1925); Part II (I. G. Druce, E. H. Loring), Examination of Crude Dvi manganese, Chem. News, 131 (1925).
- Druce I. G. F. Recent progress with rhenium. Ind. Chemist, 19 (1944).
- Fleischer M. The geochemistry of rhenium, with special reference to its occurrence in molybdenite. Econ. Geol. v. 54, № 8, 1959.
- Fleischer M. The geochemistry of rhenium. Econ. Geol. v. 55, N 3, 1960.
- Geilmann W., Lange G. Precipitation and determination of rhenium as sulphide. Z. anal. Chem. 126 (1944).

- Herr W., Merz. E.* Eine neue Methode zur Altersbestimmung von rheniumhaltigen Mineralienmittels Neutronenaktivierung. *Z. Naturforsch.* N 8, 1955 und Bd. 13a, N 3, 1958.
- Lagrenaudie J.* Formation de dépôts de sulfures de *Mo*, *W*, et *Re*, par action en phase vapeur. *Bull. Soc. franc. minéral.* 79, N 10/12, 1956.
- Noddack W., Tacke I., Berg O.* Die Ekamangane, *Naturwiss.*, 13 (1925); zwei neue Elemente der Manganengruppe (chemischer Teil von W. Noddack und I. Tacke, Röntgenspektroskopischer Teil von O. Berg und I. Tacke), *S. B. preuss. Akad. Wiss.*, 19 (1925).
- Noddack W., Tacke I.* Zur Auffindung der Elemente Rhenium und Masurium, *Metal-Ibörse*, 15 (1925).
- Noddack W., Noddack I.* Die Geochemie des Rheniums. *Zeitsch. f. physikalische Chemie*, 154, H. 3—4, 1931.
- Noddack W., Noddack I.* Das Rhenium und seine heutigen Anwendungen in der Technik. *Werkstoff und Korrosion*, N 8, 1951.
- Petersen R. G., Hamilton I. G., Myers A. T.* An occurrence of rhenium, associated with uraninite in Coconino country, Arizona. *Econ. Geol.* v. 54, N 2, 1959.
- Schüller A.* Metallisation und Genese des Kupferschiefers von Mansfeld. *Abhandl. Dtsch. Acad. Wiss. Kl. Chem., Geol. und Biol.*, 1956.
- Schüller A., Otteman.* Ein neues mit Hilfe der Elektronen-Mikrosonde bestimmtes Mineral aus den Mansfelder „Rücken“. *Neues Jahrb. Mineral.*, Bd. 100, N 3, 1963.
- Sims, Chester T.* Rhenium Metal. *Materials and Methods*, v. 41, N 3, 1955.

Селен

Открыт в 1817 г. шведским химиком Берцелиусом в составе бурокрасных шламов, осаждавшихся на стенках свинцовых камер при переработке сульфидных руд месторождения Фалун (Швеция).

Так как свойства элемента оказались очень сходными с таковыми незадолго до этого (1798) открытого теллура (*tellus* по латыни—Земля), новый элемент в честь Луны, спутника Земли, получил название селен (*selene* по латыни—Луна).

Селен известен в трех модификациях: аморфной (стекловидный, коллоидальный), кристаллической красной (моноклинной сингонии) и кристаллической серой с металлическим блеском, так называемый «металлический» селен (гексагональной сингонии).

«Металлический» серый селен имеет уд. вес 4,8, температура плавления 217°C, твердость 2.

В зависимости от интенсивности освещения селен изменяет свою электропроводность, на чем основано его широкое использование в фотоэлементах для различных автоматических устройств, измерительной аппаратуры, фототелеграфии, телевидении, сигнализации.

Селен, как один из лучших полупроводниковых материалов, применяется в электрических выпрямителях, термоэлектрогенераторах, как добавка к сплавам цветных металлов и к стали, катализатор в химической промышленности, добавка к стеклу, резине.

В стекольной промышленности добавки *Se* к стеклу (50—150 г на 1 т стекла) устраняют обычную зеленоватую окраску его, обусловленную примесью железа; более значительные добавки селена окрашивают стекло в различные оттенки розового цвета до рубинового и черного.

Основные генетические типы месторождений селена (по Н. Д. Синдеевой, с сокращениями)

Генетический тип	Связь с магмат. и др. породами	Главные Se-содержащие минералы	Ассоциации элементов	Примеры месторождений
Ликвационный	Габбро, нориты, перидотиты	Пирротин, пентландит, халькопирит	<i>Se, S, Te, Fe, Ni, Cu, Co, Zr, Pt</i>	Норильск, Мончегорск, Сёдобери и др.
Экспляционный вулканический	Вулк. породы	Самородная S	<i>S, Se, As</i>	Курилы, Эгна
а) Самородной серы		Самородная S, селенаты	<i>S, Se, As</i>	США
б) Бентониты, туфы	Гранитоиды	Галенит, сфалерит, пирит, халькопирит	<i>S, Se, Te, Pb, Zn, Cu, Fe, Bi, Cd</i>	Алтын-топкан (Ср. Азия)
Скарновый				
Гидротермальный	Гранитоиды	Селениды, галенит, сфалерит, арсенопирит, пирротин, касситерит	<i>Se, Te, Pb, Zn, Sn, As, Fe</i>	Делутатское, Сохондо
а) Сульфидно-касситеритовый		Молибденит, халькопирит, теллуриды	<i>Mo, Cu, Se, Te, Re</i>	Арм. ССР, Ср. Азия
б) Медно-молибденовый	"	Пирит, халькопирит, галенит, бл. руды, сфалерит	<i>S, Se, Te, Cu, As, Sb, Pb</i>	Урал, Кавказ-Закавказье
в) Колчеданный	"	Кобальтин, арсенопирит	<i>Se, Te, Co, As, Bi, S</i>	Сеймчан
г) Co—Se—Te	"	Клаусталит	<i>Se, Pb, Co, Ag, S</i>	Пакахака (Боливия), Тилькероде, Лербах, Зорге (Гарц.)
д) Селенидный	"			Катанга, Атабаска
е) Настуран-селенидный	"	Уранинит, Se-зигенит, Se-молибденит, пирит	<i>U, Mo, Se, Cu, As, Co, Ni</i>	Реджанг-Лебонг (Индонезия), Сэкэримб
ж) Au—Ag—Se-ауляровый	?	Au самородное, селениды, теллуриды	<i>Se, Te, Au</i>	Хайдаркан, Кадамджай
з) Киноварь-стибнитовый	?	Стибнит, киноварь	<i>Se, Sb, Hg, As</i>	
Осадочный				
а) Se—U—V песчаники	Песчаники, конгломераты	Сам. Se, пирит, селениды, селенаты, коффеинит	<i>Se, U, Mo, V</i>	Зап. штаты США
б) Se—Cu сланцы	Клаусталит, пирит, галенит, халькопирит	Селениды, пирит, галенит, халькопирит	<i>Se, Pb, Cu, Ag, Re, Mo</i>	Мансфельд, Удокан
в) Se-носные каустобиолиты	—	Селеноорг. соедин. (?), самородная Se, селениды	<i>Se, S, C, TR, Ti, V, U</i>	Зап. штаты США и др.
г) Коры выветривания	—	Окислы Fe, ярозит, Se самородный	<i>Se, Te, Fe, O</i>	Ю. Урал

(последнее содержит 0,6% *Se* и 0,1% CoCO_3). В комплексе с кадмием *Se* придает стеклу способность избирательной передачи красной части спектра, что используется в сигнальных установках на флоте и на железнодорожном транспорте.

Добавки селена к резине (0,1—2%) повышают ее износостойкость, эластичность, теплостойкость, ускоряют процесс вулканизации.

Некоторые соединения селена ядовиты и используются в сельском хозяйстве для уничтожения сорняков.

Промышленное извлечение селена производится из анодных шламов заводов цветных металлов и из отходов сернокислотного производства. Ежегодное производство селена в капиталистических странах превышает 1000 т и приходится главным образом на Канаду, США, Швецию, Мексику, Бельгию, Японию.

Кларк *Se*—0,000005% (А. П. Виноградов, 1962).

По своим кристаллохимическим свойствам *Se* весьма сходен с *Te* и *S*, что определяет тесную ассоциацию этих трех элементов в природных процессах. Ионный радиус *Se* 1,93 Å (для *Te* 2,11 Å, для *S* 1,74 Å). Селен обычно рассеян в гидротермальных минералах, чаще всего в сульфидах, но образует также собственные минералы—селениды меди, свинца, висмута, серебра, ртути, кобальта, железа, никеля, таллия, цинка, кадмия—всего числом до 40, среди которых наиболее обычные:

		<i>Se</i> , %
Клаусталит	PbSe	27
Круксит	$(\text{Cu}, \text{Tl}, \text{Ag})_2\text{Se}$	32
Клокманнит	CuSe	56
Берцелианит	Cu_{2-x}Se	до 40
Науманнит	Ag_2Se	до 27
Умангит	Cu_3Se_2	45

Среди минералов-носителей селена следует отметить: вулканическую самородную серу (до 5,18% *Se*), молибденит (до 0,1, изредка несколько процентов в селеномолибдените), линнеит (до нескольких процентов в селенолиннеите), галенит (до 20% в селеногалените, изоморфен с клаусталитом), пирит (до 3%), киноварь (до 0,4%), висмутин (до 8,8%), халькопирит (до 0,1%) и др.

Следует отметить, что изоморфизм *Se* и *S* неограничен в системе $\text{PbS}—\text{PbSe}$ и довольно широк для ряда других сульфидов (молибденит, пирит, линнеит, зигенит); собственные минералы селена—селениды—образуются поэтому в условиях недостатка серы, или когда она находится в сульфатной форме (селениды в баритовых жилах).

Главным источником получения селена являются сульфидные руды гидротермальных и частью ликвационных месторождений; небольшое значение имеет разработка собственно селеновых руд, представленных селенидами, осадочные месторождения $\text{U}—\text{Se}$ руд, в перспективе бентониты и вулканические туфы (*Se* до 0,003—0,012%).

Более полная характеристика генетических типов месторождений селена приведена в табл. 11.

ЛИТЕРАТУРА ПО СЕЛЕНУ (И ТЕЛЛУРУ)

- Амирян Ш. О. К минералогии золоторудных месторождений. ДАН Арм. ССР, 31, № 1, 1960.
- Зайнуллин Г. Г. Некоторые вопросы геохимии селена и теллура в медно-никелевых рудах Норильского района. «Геохимия», № 3, 1960.
- Кудрявцев А. А. Химия и технология селена и теллура. Издат. «Высшая школа», 1961.
- Петровская Н. В. Минералогия и геохимия селена, теллура, индия и кадмия. Изд. ВИМС, 1958.
- Петровская Н. В., Клименко Н. Г. Селен и теллур, Изд. 2. Госгеолтехиздат, 1960.
- Пиджян Г. О. Закономерности распределения селена и теллура в рудах медно-молибденовых месторождений Арм. ССР. Изв. АН Арм. ССР, сер. «Науки о Земле», т. 20, № 5—6, 1967.
- Синдеева Н. Д. Селен и теллур в месторождениях различных генетических типов. Изв. АН СССР, сер. геол., № 5, 1958.
- Синдеева Н. Д. Минералогия, типы месторождений и основные черты геохимии селена и теллура. Изд. АН СССР, 1959.
- Твалчрелидзе Г. А. Парагачайское месторождение молибдена. Сов. геология, сб. 29, 1948.
- Требования промышленности к качеству минерального сырья, вып. 71. Селен и теллур, Госгеолтехиздат, 1960 (изд. второе).
- Юхтанов Д. М. Производство селена и теллура. Metallurgizdat, 1955.
- Юшко-Захарова О. Е. Геохимия селена и теллура в медно-никелевых месторождениях. Тр. ИМГРЭ АН СССР, вып. 10, 1963.
- Blok H., Ahlfeld F. Die Selenerzlagertstätte Pacajake, Bolivia. Zeit. Prakt. Geol. 45, H. 1, 1937.
- Earlay I. W. Description and synthesis of the selenide minerals. Amer. Mineralogist, 35, № 5—6, 1950.
- Goldschmidt V. M., Strock L. W. Zur Geochemie des Selens. II-Nachr. ges. wiss. Göttingen. Math-phys-kl. Fachgr. IV, 1, N 11, 1935.
- Tischendorf G. Über die genesis von Selenidvorkommen speziell von Tilkerode in Harz. Fortschr. Mineral., 37, H. 1, 1959.
- Tischendorf G. Zur genesis einiger Selenidvorkommen, insbesondere von Tilkerode in Harz. Berlin, 1959.
- Trites A. F. Selenium occurrence in the United States. Min. Mag. v. 46, № 8, 1956.

Теллур

Венгерский естествоиспытатель Китайбел в 1778 г. и Мюллер фон Рейхенштейн в 1782 г., изучая золотые руды Трансильвании, предположили наличие в них нового элемента в минералах, которые ранее принимались за соединения сурьмы и висмута, а на самом деле оказались теллуридами.

В 1798 г. немецкий химик Клапрот выделил новый элемент из этих минералов и назвал его теллур (tellus—по латыни Земля).

Теллур тесно ассоциирует в природе с *Se* и *S*, но в ряду *Te—Se—S* он сохраняет некоторую обособленность, обусловленную большей величиной ионного радиуса (у *Te* 2,11 Å; для *Se* 1,93 Å, для *S* 1,74 Å). В связи с этим изоморфизм *Te* с *Se* и особенно *S* ограничен и он чаще чем *Se* образует самостоятельные минералы—теллуриды, дающие иногда значительные концентрации. Теллур встречается как в аморфном, так и в кристаллическом состоянии, а этот последний в двух модификациях: α и β.

Кристаллический теллур представляет собой серебристо-белый металл с уд. весом около 6,4 и температурой плавления 452°C.

Мировое производство теллура в капиталистических странах превышает ежегодно 150 т и приходится главным образом на США, Канаду и ФРГ.

В связи со все большим расширением областей применения теллура в ряде важных отраслей современной техники, производство его в последние годы быстро растет.

Главными областями применения теллура и его соединений являются: полупроводниковая техника (теллуриды *Cd*, *Bi*, *Pb*, *Ga* и *TeS*), термоэлектрогенераторы, фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии (теллурид кадмия с КПД намного больше, чем у кремниевых батарей). Термоэлементы состава *Te—Se* используются в холодильниках и других устройствах.

Присадка теллура используется в малооловянистых баббитах, в свинцовых кабелях, термopарах (с *Cu* и *Pt*), в сталях, чугунах, сплавах цветных металлов.

Теллур—свинцовый сплав используется в качестве кислотоупорного материала в производстве серной кислоты, а ряд соединений теллура—в качестве катализатора при крекинг-процессе и добавки к резине, стеклу.

Известны соединения теллура, обладающие бактерицидными свойствами (используются в медицине).

Кларк теллура очень низкий—0,0000001% (А. П. Виноградов, 1962), это типичный рассеянный главным образом в сульфидах элемент, который образует также самостоятельные минералы—теллуриды, обычно выпадающие на поздних стадиях гидротермального процесса.

Теллуридов известно более 40, наиболее часты теллуриды меди, свинца, висмута, серебра и золота.

В. В. Щербина предлагает следующий ряд возрастающего сродства металлов к теллуру: *Cu*, *Pb*, *Ni*, *Bi*, *Hg*, *Ag*, *Au*. Изоморфная примесь теллура наблюдается во многих сульфидах, однако изоморфизм *Te—S* выражен хуже, чем в ряду *Se—S* и в сульфиды входит ограниченная примесь теллура (в галените при содержании, например, 0,2% *Te* уже выделяется алтаит—*PbTe*). По А. С. Фарамазяну, при содержании в сульфидных рудах 0,01 % и более *Te* уже наблюдаются собственные минералы теллура. Среди собственных минералов теллура следует отметить:

		<i>Te</i> , %	
Теллур самородный	<i>Te</i>	около	100
Мелонит	<i>NiTe₂</i>		80
Креннерит	<i>(Au, Ag)Te₂</i>	до	58,6
Калаверит	<i>AuTe₂</i>	до	57,6
Теллуровисмутит	<i>Bi₂Te₃</i>		48
Алтаит	<i>PbTe</i>		38,5
Гессит	<i>Ag₂Te</i>		37

Генетические типы месторождений теллура (по Н. Д. Синдеевой, с сокращениями)

Генетический тип	Связь с магмат. и др. породами	Главные <i>Te</i> -содержащие минералы	Ассоциации элементов	Примеры месторождений
Ликвационный	Габбро, нориты, перидотиты	Пирротин, халькопирит, пентландит, теллуриды	<i>S, Se, Te, Cu, Ni, Fe, Co, Pt, Pd</i>	Норильск, Сёдбери
Эксталяционный	Вулк. породы	Самородная сера	<i>S, Se, Te, As</i>	Камчатка, Курилы, Гаван
Гидротермальный				
а) Грейзеновый	Граниты	Вольфрамит, молибденит, висмутин, теллуриды	<i>S, Se, Te, Mo, W, Bi</i>	Караоба, В. Забайк.
б) Сульфидно-кассит.	Гранитоиды	Арсенопирит, пирротин, сфалерит, станный, теллуриды, селениды	<i>S, Se, Te, Sn, Mo, Bi, Cu, Zn, Pb</i>	Сохондо, Депутатское
в) Медно-молибденовый	Гранитоиды	Халькопирит, молибденит, пирит, теллуриды	<i>S, Se, Te, Cu, Mo, Re</i>	Каджаран, Алмалык
г) Колчеданный	Малые интрузивы гранитоидов	Халькопирит, пирит, сфалерит, галенит, бл. руды, теллуриды	<i>S, Se, Te, Cu, Pb, Zn, Cd, Au, Ag, Bi, As, Sb</i>	Урал, Алтай, Кавказ-Закавказье
д) Настуран-селсидный	Гранитоиды	Уранинит, пирит, халькопирит, <i>Se</i> -молибденит, <i>Se</i> -зингенит	<i>U, Se, Te, Ni, Co, As, TR, Mo</i>	Катанга (Конго)
е) Кварц-арсенопирит-золоторудный	Граниты	Арсенопирит, пирротин, тетрадимит, пирит, сам. <i>Te</i>	<i>Te, Au, As, Bi</i>	Кочкарь
ж) Золото-теллуrowый	Фельзиты, гранит-порфиры	Теллуриды <i>Au, Ag, Bi, Cu, Ni</i> и др.	<i>Te, Au, Ag, Bi, Cu</i>	Трансильвания, Зод (Арм. ССР)
Кора выветривания сульфидных месторождений	Зона окисления, лимонитовые шляпы	Окислы <i>Fe</i> , окисленные минералы <i>Te</i> и <i>Se</i>	<i>Fe, Se, Te</i>	Майкаин (Казах. ССР), Бурибай (Ю. Урал)
Госсыпи	Элюв. — делюз. и аллюв. россыпи	Теллуриды	<i>Te, Au, Bi, Ag</i>	Забайкалье

Тетрадимит	Bi_2Te_2S	36
Петцит	Ag_3AuTe_2	33
Нагиагит	$Pb_5Au(Te, Sb)_4S_{5-8}$	18—30
Монтанит	$Bi_2TeO_4(OH)_4$	26% TeO_3

(в зоне окисления)

Среди минералов-носителей теллура отметим: галенит (до 0,37% Te), висмутин (до 0,53% Te), энаргит (до 0,5%), пирит (до 0,1%), серу вулканическую (до 0,18%), касситерит (до 1,4%), сфалерит (до 0,13%), халькопирит (до 0,05%), молибденит (до 0,04%) и др.

Содержание в сульфидных рудах 0,002% Te представляет интерес; в концентратах этих руд обычно содержится до 0,03% Te (и нередко столько же селена).

В зоне окисления теллур малоподвижен и осаждается в лимонитовой шляпе (до 0,008—0,128% Te) в отличие от селена и серы, которые выносятся.

Поэтому же теллур обычно отсутствует в осадочных рудах железа, марганца, серы и сульфидов, в почвах и растениях. Так как Te отсутствует в гипергенных сульфидах, не связанных с зоной вторичного сульфидного обогащения, заметные концентрации теллура говорят о гипогенном генезисе сульфидных руд (Н. Д. Синдеева, 1964).

Главным источником получения теллура являются гидротермальные и частью ликвационные месторождения сульфидных руд, причем обогащены теллуrom средне- и низкотемпературные образования.

Важными поставщиками теллура являются медно-молибденовые и колчеданные месторождения (теллур извлекается из анодных шламов медеплавильных заводов и отходов сернокислотного производства), а также низкотемпературные близповерхностные месторождения золота трансильванского типа с теллуридами (теллур извлекается из цианистых шламов золоторудного производства), некоторые месторождения урановых руд в ассоциации с кобальт-селенидно-теллуридной минерализацией (Б. Медвежье озеро в Канаде, Шинколобве в Конго и др.).

Интерес представляют также колчеданно-полиметаллические месторождения Алтайского типа, некоторые скарновые месторождения (Алтын-Топкан).

Среди сульфидов наиболее богаты теллуrom обычно галенит, халькопирит, молибденит, менее пирит (сотые доли процента Te); в сфалерите, пирротине, пентландите содержания ниже (тысячные и десятитысячные доли процента).

Более полная характеристика генетических типов месторождений теллура приведена в табл. 12.

ЛИТЕРАТУРА ПО ТЕЛЛУРУ

- Амирян Ш. О. Некоторые черты металлогении золота и золоторудные ассоциации минералов в Армянской ССР. Изв. АН Арм. ССР, сер. «Науки о Земле», т. XXI, № 4, 1968.

- Боришанская С. С. Новый способ определения теллура в полированных шлифах. Сов. геология, сб. № 27, 1947.
- Зарьян Р. Н. Теллуриды и теллурит свинца в рудах Кафанского месторождения. Изв. АН Арм. ССР, геол.-геогр. науки, т. XV, № 2, 1962.
- Карапетян А. И. Теллуриды в рудах Анкаванского месторождения. Изв. АН Арм. ССР, геол. и геогр. науки, т. 14, № 6, 1961.
- Магакян И. Г. Сурьмянистый теллуровисмутит в рудах Зодского золоторудного месторождения. Зап. ВМО, вып. 3, 1957.
- Меликсетян Б. М., Хуришудян Э. Х., Фарамазян А. С. Теллуровисмутит и некоторые другие теллуриды из Калерского месторождения молибденита. ДАН Арм. ССР, т. XXX, № 4, 1960.
- Петровская Н. В. Минералогия и геохимия селена, теллура, индия и кадмия. Изд. ВИМС, 1958.
- Пароникян В. О. Алтанг из руд Азатекского месторождения. Изв. АН Арм. ССР, геол.-геогр. науки, т. 14, № 6, 1961.
- Пиджян Г. О. Теллуриды в рудах Агаракского, Дастакертского и Джиндаринского месторождений. Зап. Арм. отд. ВМО, вып. 4, 1969.
- Рузматов С. Р. О нахождении теллуридов в рудах месторождения Кальмакыр Алмалыкского района. ДАН Узб. ССР, № 1, 1960.
- Синдеева Н. Д., Годовиков А. А. Об изоморфизме между серой и теллуrom в галените. ДАН СССР, 127, № 2, 1959.
- Твалчрелидзе Т. А. Золото-висмут-теллуровая ассоциация Дамблудского и Зодского месторождений. Тр. КИМС, 1959.
- Хачатурян Э. А. Алтанг и петцит в рудах Кафанского месторождения. ДАН Арм. ССР, т. 26, № 3, 1958.
- Щербина В. В. Основные черты геохимии теллура. Изв. АН СССР, сер. геол., № 5, 1937.
- Щербина В. В., Зарьян Р. Н. Парагенезис теллуридов серебра как минералов в системе $Ag-Au-Te$ «Геохимия», № 7, 1964.
- Thompson R. M. The Telluride minerals and their occurrence in Canada. Amer. Mineral., vol. 34, № 5—6, 1949.

РАЗДЕЛ III

РЕДКИЕ ЗЕМЛИ (*TR*) И ИТТРИЙ (*Y*)

К группе редких земель относятся 15 элементов, которые в периодической таблице элементов Д. И. Менделеева занимают места от № 57 до № 71 включительно. К этой же группе причисляют близкий им по свойствам элемент № 39—иттрий.

Впервые редкие земли и иттрий были установлены финским химиком Гадoliniном в 1794 г. в новом минерале из пегматитов Иттерби (Швеция), названном впоследствии гадолинитом. Прошло, однако, более 100 лет, пока элементы группы *TR* были индивидуализированы, выделены и изучены каждый в отдельности.

Среди элементов группы редких земель обычно выделяют две группы—цериевую и иттриевую, с подразделением последней на тербиевую и собственно-иттриевую подгруппы:

Атомный N	Символ	Элемент	Радиус иона R ³⁺ в Å		
57	La	Лантан	1,22	}	Цериевые редкие земли
58	Ce	Церий	1,18		
59	Pr	Празеодим	1,16		
60	Nd	Неодим	1,15		
61	Pm (Cy)	Прометий (циклоний)	—		
62	Sm	Самарий	1,13	}	}
63	Eu	Европий	1,13		
64	Gd	Гадолиний	1,11		
65	Tb	Тербий	1,09		
66	Dy	Диспрозий	1,07		
67	Ho	Гольмий	1,05	}	Иттриевые редкие земли
68	Er	Эрбий	1,04		
69	Tu	Тулий	1,04		
70	Yb	Иттербий	1,00		
71	Lu	Лютеций	0,99		
39	Y	Иттрий	1,06	}	Подгр. иттрия

Кларк суммы *TR* (включая и *Y*) составляет 0,005% или по другим данным около 0,01%, причем среди отдельных элементов этой группы наряду с очень редкими есть элементы, кларки которых выше, чем у ряда довольно обычных металлов.

Ниже, по данным Sahama и Rankama, приведены величины кларков редкоземельных элементов и для сравнения некоторых других (в г/т):

<i>Y</i>	28,1	<i>Be</i>	6
<i>La</i>	18,3	<i>Ni</i>	80
<i>Ce</i>	46,1	<i>Co</i>	23
<i>Pr</i>	5,5	<i>Cu</i>	70
<i>Nd</i>	23,9	<i>Zn</i>	132
<i>Pm</i> *(Cy)	—	<i>As</i>	5
<i>Sm</i>	6,5	<i>Ag</i>	0,1
<i>Eu</i>	1,1	<i>Au</i>	0,005
<i>Gd</i>	6,4	<i>Pb</i>	16
<i>Tb</i>	0,9	<i>U</i>	4 (по А. П. Виноградо- ву 2,6)
<i>Dy</i>	4,5	<i>Sn</i>	40
<i>Ho</i>	1,2		
<i>Er</i>	2,5		
<i>Tu</i>	0,2		
<i>Yb</i>	2,7		
<i>Lu</i>	0,8		

Из этой таблички отчетливо видно, например, что кларки редкоземельных иттрия, лантана, церия, неодима выше кларка такого обычного металла как свинец и значительно выше кларков золота, серебра, урана, мышьяка, бериллия.

Смесь редкоземельных металлов—так называемый мишметалл, получил широкое применение в черной и цветной металлургии в качестве легирующей добавки.

В последние годы в ряде новых отраслей промышленности: атомной, реактивной технике, электронике, радиотехнике, электротехнике, получили важное применение индивидуальные редкоземельные металлы с чистотой 99,99% и выше. Для разделения природных смесей редких земель и получения чистых индивидуализированных металлов применяется метод ионного обмена. Сущность метода заключается в следующем: через колонку с поглощающим веществом (адсорбентом)—синтетическими смолами—пропускают раствор, содержащий соединения редких земель. В результате взаимодействия адсорбента с растворенными веществами в колонке образуются отдельные, следующие друг за другом зоны каждого из разделяемых редкоземельных элементов. При последующей промывке колонки растворителем в раствор переходит не смесь элементов, а каждый из них вымывается последовательно, один за другим.

Среди областей применения индивидуальных редких земель отметим наиболее важные: гадолиний, лантан, самарий, церий, тулий ис-

* Прометий (циклоний) в природе не установлен, получен искусственным путем в циклотроне.

пользуются в материалах, регулирующих ядерные процессы внутри реактора, в ядерном топливе, отражателях нейтронов, защитных приспособлениях.

Гадолиний в качестве поглотителя тепловых нейтронов не имеет себе равных; в этих же целях используют европий и самарий, но действие их слабее.

Соли лантана и церия применяют при получении и разделении трансурановых элементов, в частности для разделения урана и плутония.

Прометий (циклоний) используется в малогабаритных батареях, в которых источником энергии служит радиоактивный изотоп Pm^{147} с периодом полураспада $T=2,7$ года; он дает мягкое β -излучение, безвредное для человека. Эти батареи преобразуют радиоактивные излучения в электроэнергию и могут быть использованы в управляемых снарядах, малогабаритных приемниках и др.

Радиоактивный изотоп тулия Tu^{170} дает стабильное γ -излучение, подобное рентгеновским лучам; применяется в портативных полых аппаратах (вес 3 кг, заряд тулия всего 0,1—0,2 г), заменяющих громоздкие рентгеновские аппараты.

Церий и лантан, а также мишметалл, широко используются в черной металлургии в качестве легирующих добавок—раскислителей, дегазаторов, десульфаторов чугунов и сталей. Высокое химическое сродство группы TR с O , C , N , S приводит к поглощению этих вредных для металла примесей. Обычно в стали и чугуны добавляют сотые—десятые доли процента TR , а в специальные хирургические и другие стали—до 6% TR . Церий и неодим применяются и как легирующая добавка к цветным металлам—алюминию, магнию, жаропрочным сплавам Cu с Ni , Cu с Al , Si (бронзы).

Иттрий и его соединения имеют применение в электродах дуговых ламп, радарных установках, цветном телевидении. Европий применяется в цветном телевидении (красная флюоресценция), лазерах, как регулятор ядерных реакций. Многие элементы группы TR используются как добавки к краскам и лакам, к светящимся составам (люминофорам), в качестве катализаторов органических и неорганических процессов в химической промышленности.

Окислы церия, празеодима и неодима применяются для шлифовки оптического и технического стекла, как добавки к стеклу, устойчивому по отношению к радиации, радиоактивному и рентгеновскому излучению.

Бориды и сульфиды TR с высокой температурой плавления применяются в конструкциях ракет и реактивных самолетов. Соединения TR применяются в медицине и в качестве удобрения, особенно значительно повышающего урожайность бобовых культур.

Современная добыча редкоземельного сырья в капиталистических странах достигла десятков тысяч тонн концентратов ежегодно (монацитовых 15 тыс. т, бастнезитовых 10 тыс. т. и т. д.) и произво-

дится главным образом в США, Бразилии, Австралии, Индии, Африке. Главными видами сырья являются монацит из прибрежных морских и аллювиальных россыпей и бастнезит из карбонатитовых месторождений.

Редкоземельные элементы и иттрий представляют типичные литофильные элементы и тесно связаны, с одной стороны, с гранитоидами, с другой—с щелочными интрузивами (в том числе ультраосновными—щелочными комплексами).

Самостоятельных редкоземельных минералов известно более 50, минералов, содержащих изоморфную примесь TR и Y ,—несколько сот. Ниже приведены наиболее важные и широко известные минералы редких земель и минералы-носители.

Собственные минералы группы TR и Y :

ΣTR в %

Монацит	$CePO_4$	ΣTR около 70
Ксенотим	YPO_4	до 61
Черчит	$YPO_4 \cdot 2H_2O$	51
Рабдофанит	$CePO_4 \cdot H_2O$	около 65
Бастнезит	$Ce(CO_3)F$	около 75
Паризит	$Ce_2Ca(CO_3)_3F_2$	около 61
Гадолинит	$Y_2FeBe_2[Si_2O_8]O_2$	55
Лопарит	$(Na, Ce, Ca)(Ti, Nb)O_3$	до 35
Давидит	$(Fe^{2+}, La, Ce, U)_2(Ti, Fe^{3+})_5O_{12}$	17
Ортит	$CeCaFeAl_2[SiO_4][Si_2O_7]O(OH)$	до 27
Стенstrupин	$CeNaMnSi_3O_9$	35
Гагаринит	$Na(Y, Ca, Na)_2F_6$	54

Среди минералов-носителей элементов группы TR и Y следует назвать: перовскит— $CaTiO_3$ (до 11% Ce_2O_3), браннерит— UTi_2O_6 (до 9,75% Y_2O_3), циркон— $ZrSiO_4$ (до 18% Y_2O_3), эвдиалит— $(Na, Ca)_5(Zr, Fe, Mn)Si_6O_{17} \cdot (O, OH, Cl)$ (до 10,2% ΣTR_2O_3), апатит— $Ca_5[PO_4]_3(OH, F)$ (1,5—7% ΣTR_2O_3), сфен (до 3% ΣTR_2O_3) и др. (пироклор, касситерит, топаз, флюорит, слюды, меланит, вероятно, магнетит).

Значительный интерес представляют данные (Семенов Е. И., 1964), относительно распределения отдельных лантаноидов по минералам и генетическим типам месторождений.

La —концентрируется в цериевых минералах: монаците, ортите и др., относительный максимум (64% от суммы TR) в давидите. Наиболее перспективны карбонатиты, пегматиты и скарны, связанные с щелочными породами, также грейзенизированные гранитоиды.

Ce —максимум концентрации в лопарите и пироклоре (до 65% от суммы TR), связан с магматическими и гидротермальными месторождениями щелочных интрузивов, карбонатитами, а также с пегматитами и гидротермальными месторождениями гранитоидов.

Таблица 13

Генетические типы месторождений редких земель (преимущественно гр. церия)

Генетический тип	Связь с магм. и др. породами	Главные <i>Ce</i> содержащие минералы	Ассоциация элементов	Примеры месторождений
Магматический Карбонатитовый	Пироксениты Ультраосн.—щелочные комплексы	Перовскит Бастнезит, монацит, апатит	<i>Ti, Fe, Ce</i> <i>Ce, Sr, Ba, Na</i>	Кольский п-ов Сибирь, Бразилия, США
Пегматитовый Скарновый Гидротермальный	Граниты Гранитоиды Щелочные гранитоиды	Циркон, монацит Циркон, апатит Бастнезит, гематит, сидерит, барит, флюорит Эшинит	<i>Ce, Zr</i> <i>Zr, Ce, P, Th</i> <i>Ce, La, Nd, Ba, Fe, F</i>	Ср. Азия Леми Каунти (США) Маунтин Пасс (США)
Нефелин-сиенитовые пегматиты	Нефелиновые сиениты		<i>Ce, Nd, Th, Ti, Nb, Y</i>	Урал, Сибирь
Магматический Кора выветривания Россыпи прибрежно-морские и аллюв.	Щелочные породы Щелочные сиениты Россыпи	Лопарит, эвдиалит, апатит Бастнезит Монацит, эвксенит, циркон, колумбит	<i>Ce, Zr, Nb, Ti, P</i> <i>Ce, F</i> <i>Ce, Th, Zr, Nb</i>	Кольский п-ов Сибирь Траванкор (Индия), Ай-дахо (США)
Метаморфогенный Метаморфогенный	Конгломераты Метаморфич. сланцы и гнейсы	Монацит, рутил, гематит Монацит, ортит	<i>Ce, Th, Ti, Fe</i> <i>Ce, Th, La</i>	Палмер (США) Траванкор, Вреде (ЮАР) Сибирь

Таблица 14

Генетические типы месторождений редких земель (преимущественно гр. иттрия)

Генетический тип	Связь с магм. и др. породами	Главные Y-содержащие минералы	Ассоциация элементов	Примеры месторождений
Пегматитовый	Габбро	Давидит	<i>La, Y, Ce, U</i>	Мозамбик
Пегматитовый	Гранитоиды гранитного ряда	Гadolinit, монацит, ксенотим, фергюсонит, эвксенит	<i>Ce, Y, U, K</i>	Итерби (Швеция)
Гидротермальный высоко-температурный	"	Ксенотим, монацит, касситерит, вольфрамит	<i>Y, Dy, Ce, La, Th, Zr, Sn, W</i>	Сибирь, Казах. ССР
Гидротермальный средне-низкотемпер.	"	Иттрофлюорит, ксенотим, монацит, торит, галенит	<i>Y, Dy, Ce, La, Th, Zr, Pb, Mo, F</i>	Ср. Азия
Пегматитовый	Гранитоиды щелочного ряда	Гadolinit, фергюсонит, ортит, флюорит	<i>Y, Yb, Ce, Be, Zr, F</i>	Европ. часть СССР
Магматический	Щелочные граниты	Ксенотим, колумбит, пироклор, гентгельвин	<i>Y, Nb, Zr, Be, F</i>	Джос (Нигерия)
Гидротермальный	"	Ксенотим, колумбит, сидерит, циркон, бастнезит	<i>Y, Dy, Nb, Zr, Fe</i>	Европ. часть СССР
Магматический	Нефелиновые сиениты	Эвдиалит	<i>Y, Ce, Nd, Sm, Gd, Zr, U, Nb, Ti</i>	Ю. Гренландия, Европ. часть СССР
Аллюв. россыпи	Аллюв. россыпи	Эвксенит, ксенотим, фергюсонит, монацит, колумбит	<i>Y, Ce, Th, Nb, Zr</i>	Айдахо (США)
Осадочный	<i>Fe—Mn</i> осадки	Чёрчит, рабдофанит	<i>Y, Dy, Ce, U, Mn, Fe, P</i>	Виргиния (США)
Осадочный	Y-содерж. фосфориты	Рабдофанит, апатит	<i>Y, Ce, Sm, Eu, Gd, U, P</i>	Флорида (США)
Метаморфогенный	Конгломераты и кварциты	Браннерит, уранинит, монацит	<i>Y, U, Th</i>	Блайнд Ривер (Канада)

Pr—концентрируется в монаците, ортите, вместе с *Ce* и *Nd*.
Nd—в минералах, богатых церием, а также в виде самостоятельного минерала эшинита— $(Ce, Nd, Th, Y)(Ti, Nb)_2O_6$; связан с пегматитами габбрового и гранитного ряда.

Sm—в монаците, самарските, эвдиалите, браннерите в гранитных пегматитах.

Eu—обогатены рабдофанит, черчит; максимум в ксенотиме (0,4%) и других иттрийсодержащих минералах, присутствует в бастнезите (0,08% Eu_2O_3 от суммы TR).

Gd—в самарските и в иттриевых минералах из пегматитов.

Tr—связан с *Gd* в самарските, также в ксенотиме, паризите.

Dy—в существенно иттриевых минералах: ксенотиме, черчите.

Обогатены гидротермальные ксенотим (8,6% от $\sum TR$) и торит (25% от $\sum Tr$).

Ho—вместе с *Dy* в тех же минералах. Отношение Dy/Ho около 6.

Er—вместе с *Dy* или *Yb* в минералах, обогащенных иттрием.

Максимум в ксенотиме (15% Er_2O_3 от $\sum TR$), эпидоте, цирконе— в гранитных пегматитах и альбититах.

Tu—тесно ассоциирует с эрбием в гранитных пегматитах, причем отношение $Er/Tu=6$. Максимум содержания в эпидоте (2,4% на $\sum TR$) и в ксенотиме (1% на минерал).

Yb—во многих минералах, обогащенных иттрием—ксенотиме, тортвейтите, фергюсоните в гранитных и щелочных пегматитах. Максимум *Yb* в тортвейтите (31% на $\sum TR$) и ксенотиме (10,5% на минерал).

Lu—тесно коррелируется с *Yb*, причем отношение Yb/Lu около 6; максимум в $Y-Yb$ минералах гранитных пегматитов: ксенотиме, фергюсоните, тортвейтите. В тортвейтите 5,5% (на $\sum TR$), в ксенотиме 2,6% (на минерал).

Генетические типы месторождений редких земель и иттрия многообразны; в связи с некоторыми отличиями типов минерализации преимущественно цериевой и иттриевой групп мы приводим две различные таблицы: № 13 для цериевой группы и № 14 для иттриевой группы, главным образом по материалам Е. И. Семенова (1964).

ЛИТЕРАТУРА ПО РЕДКИМ ЗЕМЛЯМ И ИТТРИЮ

- Балашов Ю. А., Туранская Н. В. Особенности состава редкоземельных элементов в эвдиалитах и лопаритах Ловозерского массива. «Геохимия», № 2, 1960.
- Балашов Ю. А. Закономерности распределения редкоземельных элементов в земной коре. «Геохимия», № 2, 1963.
- Бельков И. В. Иттриевая минерализация амазонитовых пегматитов щелочных гранитов Кольского полуострова. В кн. Вопросы геологии и минералогии Кольского п-ова, вып. 1. Изд. АН СССР, 1958.
- Боровик С. А., Бурова Т. А. О содержании редких земель в фосфоритах Кара-Тау. ДАН СССР, 20, № 5, 1938.

- Бородин, Л. С. О некоторых основных вопросах геохимии редких земель. Тр. ИМГРЭ, вып. 9, 1962.
- Власов К. А. Основные генетические типы редкоземельных месторождений и факторы их образования. Изв. АН СССР, сер. геол., № 12, 1957, стр. 13—32.
- Геология месторождений редких элементов, вып. 3. Редкоземельные элементы и их месторождения. Госгеолтехиздат, 1959. Требования промышленности к качеству минерального сырья, вып. 51, 1959.
- Гинзбург А. И. О минералах—геохимических индикаторах и их значении при поисках руд редких металлов в пегматитах. ДАН СССР, т. 98, 1954, № 2, стр. 233—235.
- Гинзбург А. И., Нечаева А. И., Лавренев Ю. Б., Пожарицкая Л. К. Редкометалльные карбонатиты. Сб. «Геология м-ний редких элементов». Госгеолтехиздат, вып. 1, стр. 1—127, 1958.
- Иост Д., Рассель Г. и Гарнер К. Редкоземельные элементы и их соединения. Перев. с англ. ИЛ, 1949.
- Калита А. П. Пегматиты щелочных гранитов. Тр. ИМГРЭ АН СССР, вып. 16, 1963.
- Коган Б. И. Применение редких земель в промышленности (по данным иностранных журналов). Бюлл. научно-техн. информ. (МГ и ОН СССР), № 5, 1957.
- Коган Б. И. Экономические очерки по редким землям. Изд. АН СССР, 1961.
- Котляр В. Н., Кристальный Б. В. Месторождения тория в капиталистических странах. Госгеолиздат, ОНТИ, 1958, стр. 1—49.
- Кочиян Г. Е. К вопросу о генезисе проявлений редких земель в щелочных породах. Тр. НИГМИ, вып. 3, 1962.
- Кузьменко В. И. Петровско-Гнутовское месторождение паризита (Укр. ССР). «Сов. геол.», № 12, 1946.
- Меликсетян Б. М. К геохимии редких земель и иттрия в гранитсидах. Изв. АН Арм. ССР, геол.-геогр. науки, т. XVI, 3, 1963.
- Онтоев Д. О. Некоторые вопросы геологии фторо-редкоземельно-железородных месторождений. «Геология рудных месторождений», № 6, 1963.
- Павленко А. С., Вайнштейн Э. Е., Туранская Н. В. О некоторых закономерностях поведения редких земель и иттрия в магматических и постмагматических процессах. «Геохимия», № 4, 1959.
- Ранкама К. Изотопы в геологии. ИЛ, 1956.
- Руприх М. Получение редких земель из хибинского апатитового концентрата. Химия и химич. технология. Переводы из иностр. период. лит-ры, стр. 3, 41—44, 1958.
- Семенов Е. И., Баринский Р. Л. Особенности состава редких земель в минералах. «Геохимия», № 4, 1958.
- Семенов Е. И., Холодов В. Н., Баринский Р. Л. Редкие земли в фосфоритах. «Геохимия», № 5, 1962.
- Семенов Е. И. Минералогия редких земель. Минералогия, генетические типы минерализации и основные черты геохимии редкоземельных элементов. Изд. АН СССР, 1963.
- Сердюченко Д. П. Генетические типы редкоземельной минерализации в осадочно-метаморфических породах. В кн. «Очерки по металлогении осадочных пород». Изд. АН СССР, 1961.
- Сердюченко Д. П., Глебов А. В., Павлов В. А. Людвигитовая минерализация и (Fe—V—TR)-парагенез в древних платформах. Изд. АН СССР, 1963.
- Соболева М. В., Пудовкина И. Д. Минералы урана. Госгеолтехиздат, 1957.
- Ферсман А. Е. Редкие элементы Хибинских и Ловозерских тундр. Сб. Хибинские апатиты, сб. 4, стр. 95—99, 1933.
- Ферсман А. Е. Пегматиты, III. Изд-во АН СССР, 1940, стр. 1—72.
- Хвостова В. А. Минералогия ортита. Тр. ИМГРЭ АН СССР, вып. 11, 1962.
- Хомяков А. П. Распределение редкоземельных элементов в карбонатно-гематитовых жилах Западного Танну-Ола. «Геохимия», № 1, 1964.
- Шубникова О. М. Минералы редких элементов и их диагностика, ч. 1, 1952.

- Bowie S. H. U., Horne I. E.* Cheralite, a new mineral of the monazite group. *Min. Mag.* 30, № 221, 1953.
- Erickson R. L., Blade L. V.* Geochemistry and petrology of the alkalic igneous complex at Magnet Cove, Arkansas. *Geol. Surv. Prof. Paper.*, № 425, 1963.
- Olson J. C., Shaw D. R., Pray L. C., Sharp W. N.* Rare-earth mineral deposits of the Mountain Pass district, San Bernardino County, California. *Geol. Surv. Prof. Paper*, № 261, 1954.
- Phan K. D.* Note sur l'Europium et l'Ittrium. *Bull. du BRGM*, № 2, 1967.
- Rose H., Blade L., Ross M.* Earthy monazite of Magnet Cove, Arkansas. *Amer. Mineralogist*, 43, № 9—10, 1958.
- The Travankore Beach deposits. *Min. Mag.* v. 76, № 2, 1947.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании изложенных в разделах I—III материалов мы делаем ряд заключений прежде всего относительно условий образования промышленных концентраций отдельных описанных элементов.

Действительно, наиболее интересным вопросом является установление главных промышленных типов, прогнозирование новых перспективных типов месторождений редких, рассеянных и редкоземельных элементов и знание форм нахождения (собственные минералы, минералы-носители с изоморфной примесью и др.) этих элементов в рудах и горных породах различных типов. Эти данные отражены в составленной нами сводной табл. 15.

Большой интерес представляют также выводы относительно тех типов структур, магматических комплексов, осадочных и метаморфических процессов, с которыми связаны наиболее крупные концентрации описанных элементов и разработка методики их поисков.

Описанию и диагностике главных минералов редких, рассеянных и редкоземельных элементов отводится первое приложение к книге, а предпосылкам и методам поисков их месторождений—второе приложение (см. приложения 1 и 2).

ОБЩАЯ И СПРАВОЧНАЯ ЛИТЕРАТУРА ПО РЕДКИМ, РАССЕЯННЫМ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ

- Бабаев К. Л. Генетические типы оруденения редких и рассеянных элементов. Ученые записки САИГИМС, вып. 1, Ташкент, 1959.
- Банкетов А. К. Медно-порфировые руды Северной и Южной Америки. Издат. ВНИЦМ, 1961.
- Берг Г. Геохимия месторождений полезных ископаемых. Изд. ОНТИ НКТП СССР, 1937.
- Беус А. А. Геохимия грайзеновых месторождений и закономерности распространения в них редких элементов. В кн. «Геохимические циклы», Госгестехиздат, 1960.
- Беус А. А., Северов Э. А., Ситник А. А., Субботин К. Д. Альбитизированные и грайзенизированные граниты (апограниты). Издат. АН СССР, 1962.
- Бетехтин А. Г. Минералогия. Госгеолиздат, 1950.
- Билибин Ю. А. Основы геологии россыпей, изд. 2-е. Изд. АН СССР, 1955.
- Билибин Ю. А. Избранные труды (в трех томах). Изд. АН СССР, 1958—1961.
- Бок И. И. О генетической классификации месторождений полезных ископаемых поверхностного происхождения. Сб. научных трудов Каз. горнометаллург. ин-та, № 18, 1959.
- Бокий Г. Б. Кристаллохимия. Изд. МГУ, 1960.
- Бородин Л. С. О типах карбонатитовых месторождений и их связи с массивами ультраосновных-щелочных пород. Изв. АН СССР, сер. геол., № 5, 1957.
- Быховер Н. А. Экономика минерального сырья. Изд. «Недра», 1967.
- Вернадский В. И. Очерки геохимии. Госгеонефтеиздат, 1934.
- Вернадский В. И. Избранные сочинения, т. I, Изд. АН СССР, 1954.
- Виноградов А. П. Закономерности распределения химических элементов в земной коре. «Геохимия», № 1, 1956.
- Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. «Геохимия», № 7, 1962.
- Власов К. А. Текстурно-парагенетическая классификация гранитных пегматитов. ДАН СССР, нов. серия, 53, № 9, 1946.
- Власов К. А. Основные генетические типы редкометальных месторождений и факторы их образования. Изв. АН СССР, сер. геол., № 12, 1957.
- Власов К. А., Кузьменко М. В., Еськова Е. М. Ловозерский щелочной массив. Изд. АН СССР, 1959.
- Власов К. А. Принципы классификации гранитных пегматитов и их текстурно-парагенетические типы. Изв. АН СССР, сер. геол., № 1, 1961.
- Вольфсон Ф. И. Проблемы изучения гидротермальных месторождений. Изд. АН СССР, 1952.
- Гайдукова В. С., Здорик Т. Б., Лавренев Ю. Б., Пожарицкая Л. К., Фролов А. А., Шейнманн Ю. М., Эпштейн Е. М. Геологическое строение и минералого-геохимические особенности редкометальных карбонатитов. Геология месторождений редких элементов, вып. 17, 1962.
- Геология Армянской ССР, т. VI. Металлические полезные ископаемые. Издат. АН Арм. ССР, 1967.
- Геохимия, минералогия, генетические типы месторождений редких элементов. Изд. «Наука», т. I, II, III, 1964—1966 гг.
- Гинзбург А. И. Генетические типы месторождений редких элементов. «Разведка и охрана недр», № 6, 1957.
- Гинзбург А. И. Опыт разработки теоретических основ геохимических методов поисков цветных и редких металлов. Госгеолтехиздат, 1957.
- Гинзбург А. И., Нечаева Е. А. и др. Редкометальные карбонатиты. «Геология месторождений редких элементов», вып. 1, Госгеолтехиздат, 1958.
- Гинзбург А. И. Типы редкометальных месторождений, генетически связанных с различными интрузивными комплексами. В кн. «Вопросы магматизма и металлогении СССР». Изд. АН Узб. ССР, 1958.

- Говоров И. Н. Грейзенизация карбонатных пород. Докл. сов. геологов на XXI сессии МГК, пробл. 14, гранито-гнейсы, 1960.
- Долуханова Н. И. Опыт применения почвенно-геохимической съемки для поисков молибдена. В кн. «Геохимические поиски рудных месторождений в СССР». Труды Первого Всес. совещ. по геохимическим методам поисков рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1957.
- Дэна Дж. Д., Дэна Э. С., Пэлач Ч., Берман Г., Фрондель К. Система минералогии, т. I—II, ИЛ, 1950—1954.
- Иванов В. В. Геохимия рассеянных элементов: галлия, германия, кадмия, индия, таллия в гидротермальных месторождениях, Изд. «Недра», 1966.
- Колотухина С. Е., Первухина А. И., Вожанец А. В. Геология месторождений редких элементов Африки и их экономическое значение. Изд. «Наука», 1964.
- Колотухина С. Е., Григорьева Л. А., Клеповская Л. И., Первухина А. И., Потемкин К. В. Геология месторождений редких элементов Ю. Америки. Изд. «Наука», 1968.
- Коржинский Д. С. Теория процессов минералообразования. Изд. АН СССР, 1962.
- Константинов М. М., Куликова Е. Я. Урановые провинции. Атомиздат, 1960.
- Котляр В. Н. Древние металлоносные конгломераты. «Сов. геология», № 11, 1960.
- Котляр В. Н. Геология и генетические типы промышленных месторождений урана. Госгеолтехиздат, 1961.
- Краускопф К. Осадочные месторождения редких металлов. В кн.: «Проблемы рудных месторождений». ИЛ, 1959.
- Кузьменко М. В. К вопросу о классификации и генезисе щелочных пегматитов. Труды ИМГРЭ, вып. 1, 1957.
- Кухаренко А. А. Палеозойский комплекс ультраосновных и щелочных пород Кольского п-ова и связанные с ними редкометальные месторождения. Зап. ВМО, ч. 87, № 3, 1958.
- Магакьян И. Г. Рассеянные и редкоземельные металлы. Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1957.
- Магакьян И. Г. Основы металлогении материков. Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1959.
- Магакьян И. Г. Рудные месторождения. Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1961 (издание второе).
- Магакьян И. Г. Типы рудных провинций и рудных формаций СССР. Изд. «Недра», 1969.
- Магакьян И. Г., Пиджян Г. О. и др. Редкие и благородные элементы в рудных формациях Армянской ССР. Изд. АН Арм. ССР, 1971.
- Меерсон Г. А. и Зеликман А. Н. Металлургия редких металлов. Metallurgizdat, 1955.
- Менделеев Д. И. Основы химии, т. I—II, 13 изд. (5-е посмертное), 1947.
- Минеев Д. А. Геохимия апогранитов и редкометальных метасоматитов Северо-западного Тарбагатая. Изд. «Наука», 1968.
- Михеев В. И. Рентгенометрический определитель минералов. Госгеолтехиздат, 1957.
- Наковник Н. И. Грейзены. В кн. «Измененные околорудные породы и их поисковое значение». Госгеолтехиздат, 1954.
- Потемкин К. В., Спицын А. Н. Редкие элементы в россыпях зарубежных стран. Изд. АН СССР, ИМГРЭ, 1963.
- Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. ИЛ, 1962.
- Сауков А. А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. Изд. МГУ, 1963.
- Смирнов В. И. Геологическая классификация гидротермальных месторождений. Вестник МГУ, серия IV, № 3, 1964.
- Смирнов В. И. Геология месторождений полезных ископаемых. Изд. «Недра», 1965.
- Смирнов С. С. Избранные труды. Изд. АН СССР, 1955.
- Солдатов Н. А. Внутреннее строение и геохимия редкометальных гранитных пегматитов. Изд. АН СССР, 1962.
- Сонгина О. А. Редкие металлы. Изд. «Металлургия», 1964.
- Справочник по редким металлам. Под ред. К. А. Гемпела. Перев. с англ. Изд. «Мир», 1965.

- Страхов Н. М. Диагенез осадков и его значение для осадочного рудообразования. Изв. АН СССР, сер. геол., № 5, 1953.
- Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. т. III. Изд. АН СССР, 1962.
- Татаринов П. М. Условия образования месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. Госгеолтехиздат, 1963.
- Таусон Л. В. Геохимия редких элементов в гранитоидах. Изд. АН СССР, 1962.
- Томкеев С. И. Карбонатиты, их природа и происхождение. Мин. сб. Львовского геол. общ., № 16, 1962.
- Ферсман А. Е. Геохимия, т. 1—4. Госхимтехиздат, 1933—1939.
- Ферсман А. Е. Пегматиты, т. 1. Гранитные пегматиты. Изд. АН СССР, 1940.
- Ферсман А. Е. Избранные труды. т. II, 1953 и т. IV, 1958. Изд. АН СССР.
- Bateman A. Economic Deposits, 1948.
- Bauman L. Tektonik und Genesis der Erzlagertstätten von Freiberg. Berlin, Akad. Verlag, 1958.
- Goldschmidt V. M. Geochemistry. Oxford, 1954.
- Park C. F. Jr., Mac Diarmid R. Ore Deposits. San-Fransisco, Londra, 1964.
- Rankama K., Sahama T. G. Geochemistry, Chicago, 1950.
- Routhier P. Les gisements métallifères. Paris, 1963.
- Schneiderhöhn H. Erzlagertstätten. Kurzvorlesungen zur Einführung und zur Wiederholung, 1955.
- Strunz H. Mineralogische Tabellen. 3 Aufl., Leipzig, 1957.
- Turekian K. K., Wedepohl K. N. Distribution of the elements in some major units of Earth's crust. Bull. Geol. Soc. America, v. 72, N 2, 1961.

Таблица 15

Главные промышленные и перспективные типы месторождений редких, рассеянных, редкоземельных элементов

Элементы	Главные промышленные типы месторождений	Главные минералы, содержащие элемент	Перспективные типы месторождений	Главные минералы, содержащие элемент
1	2	3	4	5
Тантал и Ниобий	Собственномагматический Карбонатитовый Гранитные пегматиты Россыпи — элюв.-делюв. и аллювиальные	Колумбит, лопарит, пирохлор, перовскит, тантало-колумбит, колумбит, танталит, эвксенит	Грейзенизированные и альбитизированные граниты и сиениты Магматический	Пирохлор, ильменорутил, тантало-колумбит Перовскит
Бериллий	Гранитные пегматиты Скарновый	Берилл, фенакит, гельвин, хризоберилл	Грейзенизированные граниты и гранодиориты	Берилл, берtrandит — $Be_4[Si_2O_7](OH)_2$
Цирконий и Гафний	Россыпи: элюв.-делюв., аллюв. и морские прибрежные Карбонатитовый	Циркон, бадделейт Бадделейт	Собственномагматич. Альбитизиров. и микроклинизиров. гранитоиды Грейзеновый Осадочный хемогенный	Эвдиалит Циркон
Литий	Гранитные пегматиты	Сподумен, лепидолит, петалит	Осадочный хемогенный	Амблигонит, циннвальдит Рапа соляных озер (хлориды Li)
Рубидий и Цезий	Грейзены (для Rb) Гранитные пегматиты (для Cs) Осадочный хемогенный (для Rb и Cs)	Циннвальдит Поллуцит Карнаалит	Собственномагматич. (граниты)	Амазонит, мусковит, биотит
Скандий	Высокотемпературный пневматолито-гидротермальный	Вольфрамит, касситерит, берилл	Собственномагмат. (габбро, пироксениты) Россыпи элюв.-делюв., аллюв. и морские прибрежные Метаморфогенный (конгломераты) Грейзенизированных граниты Скарновый	Пироксены, амфиболы, биотит Циркон, колумбит, минералы TR Браннерит
Бор	Вулканогенно-осадочный Галогенно-осадочный	Бораты: пандермит, улексит и др. Бораты: ашарит, гидроборацит и др.	Грейзенизированных граниты Скарновый	Гармалин Людвицит, датолит
Кадмий	Гидротермальный (полиметаллический и колчеданный)	Сфалерит, вюрцит (халькопирит, галенит, пирит)	Осадочный (угли, черные сланцы)	Металлоорг. соедин.

1	2	3	4	5
Галлий	Гидротермальный (свинцово-цинковый и полиметаллический) Осадочный (угли)	Сфалерит	Магматический (щелочные породы) Осадочный (бокситы)	Нефелин Гидраты глинозема
Германий	Гидротермальный (свинцово-цинковый и полиметаллический) Осадочный (угли)	Металлоорг. соедин.? Сфалерит, вюрцит, энаргит, теннантит, борнит (акцесс. германит, реньерит) Металлоорг. соедин.?	Метаморфизованные м-ния железных руд Субвулканические м-ния Sn—Ag руд	Магнетит, гематит Касситерит, аргиродит, канфилдит
Индий	Гидротермальный (полиметаллический и сульфидно-касситеритовый)	Сфалерит, касситерит, сульфостаннаты	Осадочный (руды железа, диоксидомовые сланцы)	Изоморфная примесь (?)
Таллий	Гидротермальный (свинцово-цинковый, реальгар-аурипигментовый, собственно таллиевый)	Галенит, сфалерит, марказит (врбаит, лорандит), реальгар, аурипигмент, сульфостантиниты свинца	Осадочный марганцевый Осадочный карналлитовый	Псиломелан, пиролюзит, браунит Изоморфная примесь в карналлите
Рений	Гидротермальный (медно-молибденовый, молибденит—серпичитовый)	Молибденит, (халькопирит)	Телотермальный (или осадочный?) Осадочный (V—U—Mo-носные песчаники и сланцы) Вулканоогенно-осадочный Осадочный (углисто-кремнистые сланцы, угли)	Борнит, халькозин, галенит, джезказганит Ильземанит, нордизит, Re_2O_7 ? Пиролюзит, псиломелан и др.
Селен	Гидротермальный (колчеданный, медно-молибденовый, селенидный, настуран-селенидный типы)	Галенит, сфалерит, пирит, халькопирит, молибденит, селениды	Осадочный (урано-селеновый тип) Вулканический (бенитониты и вулканические туфы) Ликвационный	Селениты, селенаты, самородный Se, пирит Селениты, самородный Se
Теллур	Гидротермальный (колчеданный, медно-молибденовый, золото-теллуридный, полиметаллический типы)	Галенит, халькопирит, молибденит, пирит, пирротин, теллуриды	Гидротермальный (настуран-селенидный) Собственномагм.	Пирит, халькопирит, Se—молибденит, Se—зигенит и др.
Редкие земли (гл. обр. цериевой группы)	Морские прибрежные и аллюв. россыпи Карбонатитовый	Монацит, эвксенит, циркон Бастнезит, паризит	Метаморфогенный	Эвдиалит, перовскит, меланит, сфен, циркон, ортит, лопарит и др. Монацит, рутил, браунерит, ортит
Иттрий	Аллюв. россыпи	Эвксенит, ксено им, фергусонит	Собственно-магматический Осадочный (фосфориты) Осадочный (Fe—Mn руды) Метаморфогенный (конгломераты, кварциты)	Ксенотим, пирохлор, эвдиалит Рабдофанит, апатит Чёрчит, рабдофанит Браунерит, монацит

ОПИСАНИЕ И ДИАГНОСТИКА ГЛАВНЫХ МИНЕРАЛОВ РЕДКИХ, РАССЕЯННЫХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Знать характерные признаки и методику определения минералов редких элементов как макроскопически, так и под микроскопом, очень важно, чтобы не пропустить их в поле и при камеральной обработке собранных материалов.

Ниже приведен список, а затем краткое описание главных минералов редких, рассеянных и редкоземельных элементов.

Тантал и ниобий	Скандий
Тантало-колумбит	Тортвейтит
Пирохлор-микролит	Бор
Эвксенит-поликраз	Сассолин
Лопарит	Ашарит
Бериллий	Гидроборацит
Берилл	Пандермит
Гельвин	Улексит
Хризоберилл	Датолит
Фенакит	Людвигит
Берtrandит	Турмалин
Цирконий и гафний	Кадмий
Циркон	Гринокит
Бадделеит	Отавит
Эвдиалит	Монтепонит
Литий	Галлий
Сподумен	Галлит
Лепидолит	Германий
Петалит	Германит
Амблигонит	Реньерит
Монтебразит	Индий
Циннвальдит	Таллий
Цезий и рубидий	Лорандит
Поллуцит	Врбаит
Амазонит	Круксит

Рений

Джезказганит
Сульфид рения?

Селен

Клаусталит
Клокманнит
Берцелианит
Науманнит
Умангит

Теллур

Теллур самородный
Мелонит
Креннерит-калаверит
Теллуrowисмутит
Тетрадимит
Алтаит
Гессит

Петцит

Нагиагит

Монтанит

Редкие земли и иттрий

Монацит

Ксенотим

Чёрчит

Рабдофанит

Бастнезит

Паризит

Гадолинит

Лопарит

Давидит

Ортит

Стенструпин

Гагаринит

Перовскит

Тантал и ниобий

Колумбит-танталит— $(Fe, Mn)(Nb_2O_6) — (Fe, Mn)(Ta_2O_6)$ образуют непрерывный ряд изоморфных смесей. Сингония ромбическая. Облик кристаллов пластинчатый, таблитчатый, иногда короткостолбчатый. Цвет буровато-черный до черного, черта красновато-бурая до черной. H —6, хрупкий, уд. вес колеблется от 5,15 до 8,20 (больше у танталита).

Макроскопически можно смешать с самарскитом, эшинитом, эвксенитом и другими, от которых трудно отличить без спектрального и микрохимического анализов.

Колумбит после сплавления с KOH и обработки разбавленной HCl и H_2SO_4 , при прибавлении металлического Zn , дает прочную синюю окраску; танталит после сплавления с $KHSO_4$ и обработки HCl дает желтый раствор и тяжелый белый осадок, приобретающий ярко-синий цвет при прибавлении Zn ; при разбавлении водой синяя окраска исчезает (Бетехтин, 1950).

Характерна ассоциация с альбитом, мусковитом, турмалином, цирконом, вольфрамитом, касситеритом в гранитных пегматитах и грейзенизированных породах.

В аншлифах R падает от 18 (для колумбитов) до 14 (для танталитов), цвет серый, с очень слабым коричневатым оттенком, ΔR слабое, анизотропность заметная.

Внутренние рефлексы от густых кроваво- или коричневатокрасных (для танталита) до более светлых красно- и желто-коричневых (для колумбита), по отн. рельефу гр. VII. Реактивы не травят. Характерны пластинчатые и решетчатые двойники (заметны при X николях).

Можно в аншлифе смешать с вольфрамитом (у последнего ΔR и анизотропность сильнее, твердость ниже), магнетитом (изотропен, магнитен, изометричные формы зерен), касситеритом (ямчатый, плохо полируется, внутренние рефлексы светлее), уранинитом (изотропен, изометричные выделения).

Пироклор-микролит — $(Na, Ca)_{2-x}Nb_2O_6(OH, F) - (Ca, Na)_2Ta_2O_6(O, OH, F)$.

Образуют подобно колумбиту-танталиту непрерывный ряд изоморфных смесей. Сингония кубическая, облик кристаллов октаэдрический, иногда зернистые массы или колломорфный.

Цвет темно-бурый, красновато-бурый, желтовато-зеленый. Черта желтовато-белая до светло-бурой или красновато-желтой. Твердость—5—5,5, хрупкий, уд. вес 4—4,3 (для пироклора) и до 4,9 (для микролита), блеск жирный, алмазный. Изотропен, $N=1,78$.

Характерна ассоциация с альбитом, цирконом, монацитом, ильменитом, сфеном в пегматитах щелочных и нефелиновых сиенитов; обилен также во многих карбонатитах.

Можно смешать с цирконом (последний тверже, сингония тетрагональная) и шеелитом (твердость у шеелита ниже, сингония тетрагональная, реакция на W). Часто радиоактивный.

Эвксенит-поликраз — $(Y, Ce, Ca...)(Nb, Ta, Ti)_2O_6 - (Y, Ce, Ca...)(Ti, Nb, Ta)_2O_6$.

Образуют непрерывный ряд изоморфных смесей, из которых эвксениты богаты одновременно ниобием и танталом, а поликразы богаты ниобием, но обычно сильно обеднены танталом. Сингония ромбическая, обычные плотные массы или пластинчатые кристаллы, сходные по форме с тантало-колумбитом. Цвет буровато-черный, черта желтовато- или красновато-бурая. Твердость—6,5, уд. вес от 5 до 5,9 (больше в разностях, обогащенных танталом). Радиоактивен. Растворяется в кислотах лишь при кипячении или после сплавления с $KHSO_4$.

Встречается обычно в гранитных и щелочных пегматитах в ассоциации с монацитом, цирконом, ксенотимом и др.

Лопарит — $(Na, Ce, Ca...)(Ti, Nb)O_3$. Сингония кубическая, облик кристаллов мелкие кубы, сдвойникованные очень часто по флюоритовому закону. Цвет серовато-черный до черного, черта коричнево-бурая, твердость—5,5—6, уд. вес около 4,9.

Порошок лопарита с содой на угле сплавляется с трудом. Раствор сплава в HCl при кипячении с оловом окрашивается в фиолетовый цвет (реакция восстановления титана); затем появляется голубая окраска (реакция на ниобий).

Рассеян среди обогащенных эгирином нефелиновых сиенитов, встречается также в щелочных пегматитах, где образует включения мелких кристалликов среди полевых шпатов и эвдиалита.

Бериллий

Берилл — $Al_2Be_3[Si_6O_{18}]$. Минерал гексагональной сингонии с столбчатым или призматическим габитусом кристаллов. Цвет зеленовато-белый, желтовато-зеленый, голубой, ярко-зеленый, иногда розовый. Прозрачный, одноосный с $Ng - Np = 0,004 - 0,008$. Удельный вес — 2,63—2,91, твердость — 7,5—8, хрупкий, в кислотах не растворяется.

Характерен для гранитных пегматитов и грейзенов, где ассоциирует с полевыми шпатами, слюдами, топазом, турмалином, флюоритом, касситеритом, вольфрамитом, молибденитом, арсенопиритом. Как химически устойчивый минерал встречается в россыпях.

Гельвин — $Mn_4[BeSiO_4]_3S$. Кубической сингонии. Образует тетраэдрические кристаллы или шарообразные массы желто-бурого, желтого, красно-бурого, реже зеленого цвета. Полупрозрачный со стеклянным или смолистым блеском. Твердость — 6—6,5, излом раковистый, уд. вес — 3,16—3,36.

Очень похож на некоторые гранаты, в отличие от которых порошок гелвина растворяется в HCl с выделением H_2S . Встречается главным образом в скарновых зонах в ассоциации с магнетитом и флюоритом, иногда в пегматитах, грейзенах, гидротермальных сульфидно-касситеритовых и полиметаллических рудах.

Хризоберилл — Al_2BeO_4 . Ромбической сингонии. Облик кристаллов толстотаблитчатый, иногда призматический. Обычно желтый или зеленовато-желтый и только драгоценная разность его — александрит — изумрудно-зеленого цвета (при электрическом освещении — фиолетово-красный). Твердость — 8,5; хрупкий, уд. вес — 3,5—3,8.

В кислотах не растворяется. Разлагается при сплавлении порошка с KOH или $KHSO_4$. Сплав, смоченный азотнокислым кобальтом, при прокаливании дает характерное синее окрашивание (Бетехтин, 1950). Встречается в пегматитах и скарнах, а также в россыпях.

Характерна ассоциация с топазом, слюдами, гелвином, фенакитом, гранатом.

Фенакит — $Be_2[SiO_4]$. Тригональной сингонии, кристаллы короткостолбчатые. Бесцветный или винно-желтый, иногда розовый или бурый. Твердость — 7,5; уд. вес около 3. В кислотах не растворяется и п. п. тр. не плавится.

Встречается в пегматитах, скарнах, грейзенах, часто в ассоциации с бериллом, хризобериллом, гелвином.

Берtrandит — $Be_4[Si_2O_7][OH]_3$ — ромбической сингонии. Обычно мелкие призматические или таблитчатые бесцветные или бледно-желтые кристаллики рассеяны в грейзенизированных или альбитизированных гранитах и гранодиоритах.

Диагностируется в прозрачных шлифах: $Ng - Np = 0,027$, оптически отрицательный, $2V = 73 - 75^\circ$.

Твердость — 6; уд. вес около 2,6, ассоциирует с бериллом, турмалином.

Цирконий и Гафний

Циркон — $ZrSiO_4$ — тетрагональной сингонии. Облик кристаллов короткостолбчатый, реже дипирамидальный. Цвет розовый, буроватый, зеленоватый. В кислотах не растворяется, разлагается при сплавлении порошка с содой, причем раствор сплава в разбавленной HCl окрашивает куркумовую бумажку в оранжевый цвет (реакция на Zr).

Характерный акцессорный минерал гранитоидов и щелочных — нефелиновых сиенитов; часто встречается в пегматитах в ассоциации с минералами элементов гр. TR , а в щелочных породах — с бадделейтом и эвдиалитом; при разрушении пород попадает в россыпи. Цирконы содержат обычно 1—2% HfO_2 , в отдельных случаях до 20—31% HfO_2 , часто радиоактивны (примесь ThO_2 , U_3O_8).

Бадделейт — ZrO_2 — моноклинной сингонии. Обычно коллоидные массы в виде бобовин и желваков с волокнистым строением (циркон-фавас), изредка в виде таблитчатых кристаллов.

Цвет желтый, бурый, черный; блеск алмазный, жирный.

Твердость—6—7, уд. вес—5.5—6 для кристаллической разновидности 4,8—5,5—для циркон-фаваса. Плавится при температуре около 3000°C. Ассоциирует с нефелиновыми и щелочными сиенитами, встречаясь среди них и в связи с карбонатитовыми месторождениями ультраосновных — щелочных комплексов вместе с пироксеном, перовскитом, апатитом, меланитом, сфеном и др.

Встречается в элювиально-делювиальных россыпях на массивах нефелиновых сиенитов, а также в аллювиальных россыпях.

Эвдиалит — $(Na, Ca)_5(Zr, Fe, Mn)Si_6O_{17}(O, OH, Cl)$ — тригональной сингонии, в виде толстотаблитчатых и реже призматических кристаллов или сплошных зернистых масс.

Цвет розовый (малиновый эвдиалит), розово-красный, красновато-бурый, желто-бурый и светло-желтый. Блеск стеклянный. В прозрачных шлифах $Ng-Np=0,001$ до 0,004, часто близки к изотропным, часто ярко выраженный плеохроизм: по Ng карминово-красный, по Np — желтый или бесцветный, нередко зональные кристаллы.

Твердость—5—5,5; хрупкий.

П. п. тр. легко сплавляется в зеленое пузырчатое стекло, окрашивая пламя в желтый цвет. В кислотах быстро разлагается. Раствор в HCl дает реакцию на цирконий (оранжевая окраска куркумовой бумаги). Связан со щелочными породами (нефелиновыми сиенитами) и их пегматитами в парагенезисе с нефелином, эгирином, сфеном, цирконом и др.

Эвдиалит содержит обычно HfO_2 в пределах 0,1—0,7%.

Литий

Сподумен — $LiAl[SiO_3]_2$ — моноклинной сингонии. Облик кристаллов призматический, вертикальные грани имеют штриховку; аг-

регаты пластинчато-шестоватые, иногда скрыто-кристаллические массы. Цвет серовато-белый с зеленоватым, желтоватым оттенками; изредка изумрудно-зеленый (гидденит), прозрачный фиолетовый (кунцит). Блеск стеклянный.

В прозрачных шлифах $Ng-Np=0,016$, оптически положительный. $2v=54^\circ$, $cNg=24-26^\circ$.

Твердость—6,5—7, уд. вес—3,13—3,20.

П. п. тр. вспучивается, временами окрашивая пламя в слабый красный цвет (*Li*). После сплавления в прозрачное стекло с $CaF_2 + H_2SO_4$ окрашивает пламя в яркий красный цвет. Характерен для гранитных пегматитов (сподуменовый или литиевый тип) в ассоциации с литиевыми слюдами, бериллом, турмалином.

Лепидолит — $KLi(Mg, Fe)2Alp[AlSi+qO_{10}][F, OH]_2$ —сингония моноклиная.

Облик кристаллов пластинчатый, псевдогексагональный. Цвет розовый, бледно-фиолетовый, белый, иногда персиково-красный. $Ng-Np$ обычно 0,025—0,028, $2v$ сильно меняется.

Твердость 2—3, листочки гибкие, с перламутровым, серебристым блеском на плоскостях спайности. Уд. вес 2,8—2,9.

П. п. тр. легко плавится в белую эмаль, окрашивая пламя в красный цвет (*Li*). Характерен для грейзенов, иногда в гранитных пегматитах и высокотемпературных гидротермальных жилах. Ассоциация с мусковитом, циннвальдитом, сподуменом, петалитом, амблигонитом, литиевым турмалином, топазом, касситеритом, флюоритом, горным хрусталем и др.

Петалит — $(Li, Na)[AlSi_4O_{10}]$ — моноклиной сингонии. Обычно образует сплошные массы, расщепляющиеся на пластинки. Цвет белый, серый, иногда с красноватым или зеленоватым оттенком, блеск стеклянный, а по плоскостям спайности перламутровый. В шлифах $Ng-Np=0,012$, оптически положительный; $2v=83^\circ$. Твердость—6—6,5; уд. вес около 2,4—2,46.

П. п. тр. плавится, окрашивая пламя в красный цвет (*Li*). Характерен для гранитных пегматитов, в которых ассоциирует со сподуменом, лепидолитом, амблигонитом.

Амблигонит — $LiAl(PO_4)F$ — триклинной сингонии. Кристаллы крупные, плохо образованы. Цвет белый, с зеленоватым, голубоватым, желтоватым оттенками. Полупрозрачен, блеск стеклянный, а на плоскостях спайности перламутровый.

$Ng-Np=0,020$, оптически отрицательный, $2v$ от 50 до 70° (возрастает по мере увеличения содержания OH , замещающего F).

Твердость 6, хрупкий, d около 3 до 3,15.

П. п. тр. легко плавится, вспучивается, окрашивая пламя в красный цвет (*Li*). Хорошо растворяется в H_2SO_4 . Встречается в гранитных пегматитах и грейзенах, в ассоциации с другими литиевыми минералами: лепидолитом, циннвальдитом, сподуменом.

Монтебразит — $LiAl(PO_4)(OH)$ — триклинной сингонии. В

отличие от амблигонита содержание OH резко преобладает над содержанием F .

Цвет белый, оптически отрицательный; $Ng-Np=0,023$, $2v$ большой. Твердость 6; уд. вес около 3.

Встречается в гранитных пегматитах в ассоциации с другими литиевыми минералами.

Циннвальдит — $KLiFe^{2+}Al[AlSi_3O_{10}](OH, F)_2$ — моноклинной сингонии. Таблитчатые кристаллы серого, бурого, реже темно-зеленого цвета, или чешуйчатые агрегаты.

Блеск стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. В шлифах $Ng-Np=0,030$, $2v=-35^\circ$. Твердость—2—3, уд.вес—2,9—3,2.

П. п. тр. легко сплавляется в темное стекло, окрашивая пламя в характерный для лития красный цвет. Типичен для грейзенов с олововольфрамовым оруденением, в ассоциации с касситеритом, вольфрамитом, шеелитом, топазом, флюоритом, лепидолитом и др.

Цезий и рубидий

Поллуцит — $Cs[AlSi_2O_6] \cdot nH_2O$ — кубической сингонии. Кристаллики редки, встречаются на стенках пустоток, обычны неправильные выделения, прожилки.

Бесцветен и прозрачен, блеск стеклянный, излом раковистый, твердость—6,5; уд. вес—2,86—2,90— по этим признакам очень похож на кварц, но в отличие от него изотропен. Цезий легко устанавливается спектральным или микрохимическим анализом. П. п. тр. плавится в белую эмаль, окрашивая пламя в красновато-желтый цвет.

В HCl при нагревании растворяется с трудом, выделяя порошковатый кремнезем; раствор с хлористой платиной дает осадок двойной хлористой соли цезия и платины.

Встречается в гранитных пегматитах в парагенетической связи с минералами лития—петалитом, лепидолитом, амблигонитом и с кварцем.

Амазонит—цезий- и рубидийсодержащий микроклин—сингония триклинная. Содержание Rb_2O до 1,4%, Cs_2O —до 0,2%. Цвет, в отличие от обычного розового микроклина, зеленый.

Блеск стеклянный, твердость—6—6,5.

В прозрачных шлифах—решетчатые двойники, чем отличается от других полевых шпатов.

Встречается в гранитных пегматитах и иногда среди массивов гранита (амазонитовые граниты).

Скандий

Тортвейтит — $(Sc, Y)_2Si_2O_7$ — моноклинной сингонии. Образует призматические кристаллы серовато-зеленого или черного цвета. $Ng-Np=0,053$, оптически отрицательный, $2v=65^\circ$, $cNp=5^\circ$. Сильный плеохроизм: по Np —густозеленый, по Nm и Ng —буровато-желтый.

Твердость—6—7, уд. вес—3,57.

Встречается иногда в гранитных пегматитах в ассоциации с другими минералами редких земель, колумбитом, касситеритом.

Б о р

С а с с о л и н — $B(OH)_3$ — триклинной сингонии. Образует тонкочешуйчатые, шестигранно-таблитчатые бесцветные или слабо окрашенные кристаллики.

Блеск стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Оптически отрицательный, $Ng-Np=0,119$, $2v=-70^\circ$.

Твердость—1, уд. вес—1,48.

Легко плавится, окрашивая пламя в зеленый цвет.

Связан с деятельностью фумарол в вулканических районах, где выделяется в виде белых выцветов.

А ш а р и т — $MgBO_2(OH)$ — ромбической сингонии. Образует рыхлые мелоподобные или плотные массы параллельно-волокнистого или тонкоигольчатого строения.

Цвет—белый, блеск—стеклянный, рыхлые массы—матовые.

Оптически отрицательный, $Ng-Np=0,075$, $2v$ — малый. Твердость—3—3,5 (для плотных масс), уд. вес—2,65.

Характерен парагенезис с другими боратами. Определяется по оптическим константам и данным химического анализа.

П. п. тр. сплавляется в эмаль, сильно окрашивая пламя в зеленый цвет (В).

Характерен для соленосных осадочных месторождений боратов, в ассоциации с гидроборацитом и др.; иногда встречается в скарновых месторождениях в ассоциации с серпентином.

Г и д р о б о р а ц и т — $CaMgB_6O_{11} \cdot 6H_2O$ — моноклинной сингонии. Игольчатые и волокнистые агрегаты, иногда сферолитовые или звездчатые образования.

Бесцветный или белый (изредка розовый, красный, серый), блеск стеклянный.

Оптически отрицательный, $Ng-Np=0,049$, $cNp=31^\circ$, $2v$ — большой. Твердость 2, хрупкий, уд. вес=2,167.

По отмеченным признакам похож на другие бораты, от которых отличается оптическими константами и данными химических анализов.

П. п. тр. легко плавится в стекло, окрашивающее пламя в зеленый цвет.

Встречается в бороносных месторождениях каменной соли в форме гнезд среди гипсовой шляпы.

П а н д е р м и т — $Ca_4B_{10}O_{19} \cdot 7H_2O$ (?) — моноклинной сингонии. Встречается в плотных метаколлоидных массах белого цвета с раковистым изломом. Оптически отрицательный, $Ng-Np=0,019$, $2v=32^\circ$, $cNp=20-23^\circ$.

Твердость—3,5; уд. вес—2,43. В HCl растворяется при подогревании. Встречается в ассоциации с другими боратами в вулканогенно-осадочных и галогенно-осадочных месторождениях.

У лекс и т — $NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$ — моноклиной сингонии. Желваки и почковидные массы с асбестовидным или игольчатым, иногда спутанно-волокнистым строением. Цвет—белый, блеск—стеклянный, шелковистый, изредка перламутровый.

$Ng-Np=0,023$, оптически положительный, $2v$ средний. Твердость—1, уд. вес—1,65; в шлифах наблюдается спайность в трех направлениях, пересекающихся под прямым углом. Растворим в горячей воде и легко растворим в кислотах.

П. п. тр. легко плавится, вспучиваясь и окрашивая пламя в зеленоватый цвет.

Ассоциирует с другими боратами в галогенно-осадочных месторождениях.

Д а т о л и т — $CaBSiO_4(OH)$ — моноклиной сингонии. Хорошо образованные кристаллы белого цвета, иногда бледно-зеленые, желтые, красные, фиолетовые, оливково-зеленые.

Блеск стеклянный, $Ng-Np=0,045$, оптически отрицательный, $2v=74^\circ$. Твердость—5—5,5, уд. вес—2,9—3.

П. п. тр. легко плавится, вспучиваясь и окрашивая пламя в зеленый цвет. Разлагается в HCl с выделением студенистого кремнезема. Характерен для многих скарновых месторождений в ассоциации с людвицитом и магнетитом; встречается также в миндалекаменных изверженных породах в ассоциации с цеолитами и кальцитом.

Л ю д в и г и т — $(Mg, Fe^{++})_2 \cdot Fe^{++}[BO_3]O_2$ — ромбической сингонии. Цвет темно-зеленый до зеленовато-черного. Блеск алмазный. $Ng-Np$ в пределах 0,14—0,17, оптически положительный, $2v$ —малый. Твердость—5, уд. вес—4. Растворим в кислотах. Дает концентрации в некоторых скарновых месторождениях в ассоциации с датолитом и магнетитом.

Т у р м а л и н — $H_8Na_2(Mg, Fe)_6B_6Al_{12}Si_{12}O_{62}$ — тригональной сингонии. Кристаллы обычно столбчатые, с характерной вертикальной штриховкой на гранях призм и сферическими треугольными формами в поперечном разрезе.

Нередко образует радиально-лучистые (турмалиновые солнца), волокнистые и спутанноигольчатые агрегаты. Цвет различных оттенков—зеленого, розового, красного, темно-красного. Магниево-железистые турмалины бурого и желтого цвета, железистые—темно-зеленого, темно-синего, темно-бурого, черного (шерл). Блеск стеклянный. Оптически одноосный, отрицательный. Очень сильный плеохроизм с обратной схемой поглощения: по Nm поглощение сильнее, чем по Np (обратно биотиту). Твердость—7—7,5, уд. вес—2,90—3,25. Электризуется при нагревании, трении, давлении, причем противоположные концы кристалла приобретают различный заряд.

В смеси с CaF_2 и $HKSO_4$ турмалины сплавляются в пламени п. тр. и дают характерную реакцию на бор—зеленое окрашивание пламени. Турмалин часто встречается в пегматитах, грейзенах, высокотемпературных гидротермальных месторождениях в ассоциации с топазом, касситеритом, лепидолитом и др.

Кадмий

Гринokit— CdS — гексагональной сингонии. Обычно в виде порошковатых и землистых примазок; изредка в виде мелких боченковидных или остропирамидальных кристалликов. Цвет—желтый, оранжево-желтый, темно-оранжевый. Черта—оранжево-желтая до кирпично-красной. Блеск—алмазный.

Оптически одноосный, положительный, $Ng-Np=0,023$. Твердость—3—3,5, хрупкий.

В аншлифе $R\ 17$ (похож на сфалерит, немного светлее), цвет серовато-белый с синеватым оттенком (рядом со сфалеритом), ΔR —нет, изотропен.

Внутренние рефлексы лимонно-желтые, красно-коричневые или кроваво-красные, твердость средняя, по отн. рельефу—гр. IV, немного ниже сфалерита.

Тесно связан со сфалеритом и особенно с вюртцитом, слагая вместе с последним тонкие ритмически чередующиеся слоистые образования. Часто развивается, замещая сфалерит или вюртцит главным образом на границе зоны окисления и первичных свинцово-цинковых или полиметаллических руд.

По-видимому, может быть и гипогенным, выделяясь одним из последних среди сульфидов.

При травлении действуют положительно HNO_3 и HCl . Легко растворяется в концентрированных HNO_3 и HCl с выделением H_2S .

Отавит — $CdCO_3$ — тригональной сингонии. Образует корочки, зернистые массы, состоящие из мелких кристалликов белого цвета с красноватым оттенком.

Вторичный минерал зоны окисления полиметаллических руд, сульфиды которых (главным образом сфалерит) обогащены кадмием; образованию отавита, по-видимому, благоприятствует карбонатная среда вмещающих оруденение пород.

Монтепонит — CdO — кубической сингонии. Очень редкий вторичный минерал черного цвета. Просвечивает, блеск полуметаллический. Твердость—3, уд. вес—8,1—8,2. Образует блестящие черные налеты на каламине и других минералах зоны окисления некоторых свинцово-цинковых и полиметаллических месторождений, богатых кадмием.

Галлий

Галлит — $GaCuS_2$, установлен лишь в 1958 г., изучен слабо. Сингония тетрагональная, твердость—3—3,5. В аншлифах $R\ 26$, цвет—серовато-белый без цветного оттенка, ΔR нет, изотропен или слабо анизотропен.

Внутренние рефлексы не наблюдались, но вероятны (красноватого или буроватого цвета), твердость низкая до средней, по отн. рельефу гр. III—несколько ниже сфалерита, но выше германита и значительно

выше галенита. Установлен при микроскопическом изучении руд месторождений Тзумеб (ЮЗ Африка) и Кипуши (Конго, Киншаса) в виде мелкозернистых агрегатов и отдельных округлых зернышек в полях германита и пластинок внутри сфалерита, вероятно как результат распада твердого раствора Ga — содержащих германита и сфалерита.

Наблюдались пластинчатые двойники галлита; в отличие от похожих на него по R и цвету блеклых руд не имеет цветных оттенков (зеленоватого у теннантита, буроватого у тетраэдрита) и ассоциирует с германитом и реньеритом.

Германий

Германит — $Cu_3(Ge, Fe, Ga, Zn)S_4$ — сингония кубическая (?), или по другим данным скорее тетрагональная, близкая к структуре сфалерита, тетраэдрита, халькопирита и станнина, а из более редких минералов — реньерита и колусита. Твердость около 4, уд. вес около 4,3, хрупкий, спайности нет, немагнитен или слабо магнитен, непрозрачен.

Макроскопически очень напоминает борнит (фиолетово-розового цвета в сплошных массах, в штуфе из месторождения Тзумеб, в музее Центральной Африки близ Брюсселя).

В аншлифах R 21,5, коричнево-розовый, неоднородно-пятнистый с преобладанием фиолетово-розовых тонов, что сближает его с борнитом и отчасти с энаргитом.

Выделяют несколько (до трех) разновидностей с несколько отличающимися оптическими свойствами и химическим составом: германит-I с наименьшим R , розовый, похож на борнит — преобладает; II — с промежуточным R и окраской между разностями I и III, причем $R >$ чем у первой разновидности, а цвет слабо-кремовый; по сравнению с III разновидностью R ниже, а цвет более розовый; Германит III — с высшим R и соломенно-желтым цветом, как у пирита, но намного темнее (по Л. А. Логиновой).

У германита ΔR нет, изотропен, внутр. рефлексов нет, твердость средняя, а по отн. рельефу гр. III — выше галенита и борнита и немного ниже блеклых руд.

Действуют при травлении положительно: царская водка (медленно бурест); $FeCl_3$ и $HNO_3 \pm$ (сл. коричневое пятно). Структурное травление: за 15" в конц. $HNO_3 + H_2O_2$ (1:2) с небольшим количеством $KClO_3$ и таким количеством концентрированной HCl , что происходит бурное выделение хлора. В полях борнита хорошо выявляется сплошным протравлением 20% KCN (на борнит +, на германит —). Образует тонкозернистые агрегаты, зональные зерна, замещается реньеритом и теннантитом; часты сростания с реньеритом и стр. распада твердых растворов германит-реньерит. Типична ассоциация с теннантитом, борнитом, энаргитом, халькозинсом, галенитом, сфалеритом, люцитом, реньеритом, сульванитом в некоторых полиметаллических гидротермальных месторождениях средних температур.

В смысле наличия собственных минералов германия, и прежде всего германита, более перспективны месторождения, залегающие среди карбонатных пород (в силикатных породах *Ge* рассеивается в силикатах, благодаря близости свойств *Ge* и *Si*).

Германит в аншлифах можно смешать с люционитом, энаргитом, реньеритом, борнитом, но в отличие от германита у борнита отчетливее оранжевый оттенок, а первые три минерала анизотропны, к тому же реньерит, кроме того, сильно магнитен.

Реньерит — $(Cu, Fe, Ge, Zn, Sn, As)S$ или $Cu_3(Fe, Ge)S_4$ — сингония тетрагональная, по структуре наиболее близок к халькопириту и станнину (по другим данным близок к структуре сфалерита или тетраэдрита). Цвет оранжево-желтый, светлее, чем борнит в свежем изломе. Твердость—4,5, хрупкий, $d=4,3$, сильно магнитен. В аншлифах R от 28 до 32, цвет оранжево-коричневый, с бронзовым оттенком (по R и цвету занимает промежуточное положение между халькопиритом и борнитом), ΔR слабое, в иммерсии усиливается и приобретает цветной эффект в оранжевых и коричневых тонах. Анизотропен с цветными эффектами от светло-коричневого до темно- и золотисто-коричневого. Внутренних рефлексов нет, твердость средняя, по отн. рельефу гр. III—выше галенита и халькопирита, но ниже теннантита, сфалерита и борнита. От паров HNO_3 слабо тускнеет; $HNO_3 + KClO_3$ + конц. HCl выявляет структуру. В конц. HNO_3 растворяется, выделяя белый осадок, который растворим в воде и дает реакцию на *Ge*. Образует агрегаты округлых или идиоморфных зерен, пластинчатые выделения в полях теннантита, сфалерита, халькопирита, борнита, или каемки вокруг германита, замещая последний. В скрещенных николях часто заметны полисинтетические двойники. Ассоциирует с германитом, идаитом (Cu_3FeS_8), сульванитом, а также с теннантитом, энаргитом, люционитом, борнитом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом в рудах некоторых гидротермальных среднетемпературных месторождений полиметаллического состава.

Очень характерна ассоциация с идаитом в рудах, обогащенных борнитом.

В шлифах можно смешать с германитом, борнитом, люционитом, энаргитом, фаматинитом, идаитом и другими, так называемыми «розовыми» минералами. От первых двух минералов реньерит отличается анизотропностью, от остальных—величиной R и сильной магнитностью. Идаит (Cu_3FeS_8), кроме того, в отличие от реньерита очень сильно двуотражает и сильно анизотропен.

По дебаеграммам совершенно сходен с германитом $Cu_3(Ge, Fe, Ga, Zn)S_4$ и колуситом $Cu_3(As, Sn, V)S_4$.

И н д и й

Индит — $FeIn_2S_4$ — кубической сингонии. Установлен в 1963 г. (Генкин и Муравьева, 1963), изучен недостаточно.

В аншлифах R 27—28, цвет белый, ΔR нет, изотропен.

Внутренних рефлексов нет, твердость низкая, по отн. рельефу, вероятно, гр. II. Травится конц. HNO_3 .

Образует неправильные мелкие выделения в интерстициях деревянистого касситерита, в ассоциации с которым и встречен.

Таллий

Лорандит — $TlAsS_2$ — сингония моноклинная. Образует призматические или таблитчатые кристаллы карминово-красного или свинцово-серого темного цвета. Черта вишнево-красная, блеск алмазный. Твердость—2—2,5, уд. вес—5,53.

Спайность по (100), полупроводник.

В аншлифах R 23, цвет серовато-белый, с голубоватым оттенком, ΔR слабое, сильно анизотропен (маскируется внутр. рефлексами). Внутренние рефлексы ярко-красные (сходны с таковыми киновари и пираргирита), твердость низкая, по отн. рельефу гр. II.—выше реальгара и ниже киновари.

Травится парами HNO_3 (потускнение). Таллий можно определить в шлифе (по С. А. Юшко): минерал травится HNO_3 + электрический ток; капля переносится на предметное стекло и высушивается для удаления HNO_3 ; сверху помещается капля KI — выпадает желтый кристаллический осадок, нерастворимый в тиосульфате натрия.

Встречается в аллотриоморфнозернистых агрегатах в ассоциации с реальгаром, аурипигментом, марказитом, мельниквит-пиритом, антимонитом в рудах низкотемпературных гидротермальных месторождений.

Лорандит можно смешать с киноварью (отличить трудно; у лорандита ΔR слабее и ниже отн. рельеф) и с реальгаром (R ниже, а внутренние рефлексы у реальгара сранжевые).

Врбаит — $Tl(As, Sb)_3S_5$ — ромбической сингонии. Мелкие таблитчатые или пирамидальные кристаллики серовато-черного цвета, с голубым оттенком. Черта светло-красная с желтоватым оттенком. Твердость—3, 5, хрупкий, уд. вес—5,3.

В аншлифах R 29, цвет серовато-белый, с голубым или синеватым оттенком, ΔR слабое (не изучено), анизотропность слабая.

Внутренние рефлексы красные, особенно хорошо заметны с иммерсией, твердость низкая, до средней, по отн. рельефу гр. III.

Действуют положительно: царская водка (вскипает, чернеет); KOH (быстро иризирует); HCl и $FeCl_3$ ±. В конц. H_2SO_4 и HNO_3 при нагревании растворяется, выделяя серу.

Ассоциирует с реальгаром и аурипигментом в низкотемпературных гидротермальных месторождениях.

По R , цвету и внутренним рефлексам врбаит очень похож на куприт, отличаясь от него значительно более низкой твердостью и иным парагенезисом.

Врбаит можно смешать с реальгаром и аурипигментом, у которых

однако цвет внутренних рефлексов иной—оранжевый у реальгара и светло-желтый у аурипигмента.

Круксит — $(Cu, Tl, Ag)_2Se$ — тетрагональной (?) сингонии. Образует сплошные массы свинцово-серого цвета с металлическим блеском. Твердость—2—3, хрупкий, уд. вес—6,9.

П. п. тр. легко плавится в зеленовато-черную эмаль, окрашивая пламя в ярко-зеленый цвет.

В аншлифах R 29, цвет серовато-белый, с розово-кремовым или коричневым оттенком (по R и цвету похож на тетраэдрит). ΔR заметное от коричневого // спайности до серо-зелено-белого $\perp$ спайности. Заметно анизотропен, с цветным эффектом в коричневых тонах.

Внутренних рефлексов нет, твердость низкая, по отн. рельефу гр. II. Положительно действует HNO_3 (буреет без вскипания).

Характерны аллотриоморфные агрегаты округлых мелких зерен, иногда в мирмекитовых срастаниях с берцелианитом и в ассоциации с клаусталитом, клокманнитом, умангитом и другими селенидами в гидротермальных месторождениях, бедных серой. Можно смешать с тетраэдритом (но круксит имеет ΔR и анизотропен, по твердости и отн. рельефу—ниже).

Рений

Джезказганит — $Cu(Re, Mo)S_4$, структура не изучена, видимо, рентгеноаморфен. Открыт и описан в 1961—1962 гг. в рудах месторождения Джезказган в Казахской ССР (Вишневская Л. М., Поплавко Е. М. и др., 1961, 1962).

В аншлифах R 27, цвет коричневатого-серый (по сравнению с галенитом), ΔR нет, анизотропия не заметна, внутренних рефлексов нет. Твердость средняя, по отн. рельефу гр. III (близка к борниту). Положительно действуют: HNO_3 (буреет), конц. HNO_3 (нестирающееся пятно), KCN 20% (чуть заметно буреет).

Установлен в виде колломорфных образований в петлевидных прожилках среди полей борнита, частично замещенного голубым халькозином. Предполагается, что рениевый минерал—джезказганит—входит в состав борнита в виде продукта распада.

Ассоциирует с борнитом, халькозином, галенитом в ступках этих сульфидов среди песчаников месторождения Джезказган телетермального или осадочного (?) происхождения.

Сульфид рения ReS_2 ? — был установлен предположительно в 1959 г. (Schüller) в Мансфельдских рудах. Однако более поздние исследования доказали принадлежность его к медно-молибденовым минералам (Schüller, Ottemen, 1963).

Наличие в природе сульфидов и селенидов рения возможно, а искусственные сульфиды рения Re_2S_7 и ReS_2 и искусственные селениды Re_2Se_7 и $ReSe_2$ получены. Исследование искусственного соединения ReS_2 в аншлифах показало следующие его свойства: R около 28, ΔR

слабое в кремовых светлых и более темных оттенках, анизотропность очень сильная, с цветными эффектами от кремового до темно-серого, реактивы не действуют (Сатпаева и другие, 1963).

Селен

Клаусталит — $PbSe$ — кубической сингонии. Образует тонко-зернистые агрегаты свинцово-серого цвета с голубоватым оттенком — очень похож на галенит.

Твердость — 2,5—3, уд. вес — 7,6—7,8.

При накаливании пробы в открытой трубке получается красный налет селена и SeO_2 (в виде белых кристалликов).

Растворяется в крепкой H_2SO_4 ; из раствора при добавлении воды выпадает красный осадок селена.

В аншлифе R 43, цвет белый (по R и цвету очень похож на галенит), ΔR чет, изотропен или очень слабо анизотропен.

Внутренних рефлексов нет, твердость низкая, по отн. рельефу гр. II, чуть ниже галенита. Положительно действуют: HNO_3 (буреет); $FeCl_3$ (слабый налет); царская водка (иризация). Аллотриоморфнозернистые агрегаты в ассоциации с другими селенидами, самородным золотом, гематитом, урановой смолкой, карбонатами в гидротермальных рудах, бедных серой. Можно смешать с галенитом (отсутствует Se , треугольники выкрашивания выражены лучше) и с алтаитом (R значительно выше, присутствует Te).

Клокманнит — $CuSe$ — гексагональной сингонии, изоморфен с ковеллином — CuS .

Цвет темно-серый до синевато-черного, твердость — 2—3, спайность совершенная по (0001), часто видна в шлифах, уд. вес около 6. В аншлифах R 22—29 (как у халькозина), цвет зеленовато-голубой, сильное ΔR , очень сильная анизотропия с цветным эффектом от белого до светло-розово-коричневого.

Внутренних рефлексов нет, твердость низкая, по отн. рельефу гр. II — почти такой как у умангита.

Действуют положительно: HNO_3 (от паров налет); KCN (быстро чернеет); $KOH \pm$ (иногда медленно буреет).

Встречается в виде агрегатов таблитчатых зерен в сростаниях с другими селенидами (умангитом, берцелианитом, клаусталитом и др.), иногда с настураном в гидротермальных месторождениях. Смешение с другими минералами исключается в связи с характерными очень сильными ΔR и анизотропностью, парагенезисом с другими селенидами.

Берцелианит — $Cu_{2-x}Se$ — кубической сингонии. Цвет серебряно-белый с голубым оттенком, ковкий, черта блестящая. Твердость — 2, уд. вес — 6, 7.

Из раствора в крепкой H_2SO_4 при прибавлении воды выпадает красный осадок селена.

В аншлифах R 25, цвет серовато-голубой, в несвежих шлифах ин-

дигово-синий. ΔR нет, изотропен или очень слабо анизотропен. Внутренних рефлексов нет, отн. рельеф гр. II, как у клаусталита и умангита.

Действуют положительно: HNO_3 (иризация); царская водка (быстро бурет); $FeCl_3$ (быстро становится светло-бурым).

Образует аллотриоморфные агрегаты в ассоциации с другими селенидами в карбонатных гидротермальных жилах. Сходен с халькозином (намного слабее окрашен) и ковеллином (очень сильные ΔR и анизотропия).

Науманнит — Ag_2Se — кубической сингонии (при $t > 133^\circ C$). Цвет и черта железо-черные, блеск металлический, ковк. Твердость — 2—2,5; уд. вес около 8. П. п. тр. легко плавится. В аншлифах $R \sim 35$, цвет белый, но по сравнению с клаусталитом серовато-голубовато-зеленый, ΔR слабое (в иммерсии заметное), сильно анизотропен.

Действуют положительно: HNO_3 (быстро чернеет); $FeCl_3$ (слабое побурение, иризация), KOH (очень медленно бурет); $HgCl_2$ (бурет, выявляется структура). Аллотриоморфные выделения, часто срастания с клаусталитом и другими селенидами, в гидротермальных карбонатных жилах.

Умангит — Cu_3Se_2 — сингония ромбическая, цвет темный, вишнево-красный до фиолетово-синего. Черта черная.

Твердость — 2,5—3; уд. вес — 5,6.

В аншлифах R 14—16, цвет коричнево-сиреневый (как у несколько потускневшего борнита), ΔR заметно, сильно анизотропен с цветным эффектом от оранжево-красного до оранжево-желтого. Внутренних рефлексов нет, твердость низкая, по отн. рельефу гр. II, как у клокамнитита.

Образует аллотриоморфные агрегаты, часто полисинтетические двойники. Ассоциирует с другими селенидами, иногда настураном в гидротермальных карбонатных жилах.

Характерные признаки: низкое R , цвет, сильные ΔR и анизотропия отличают умангит от других сходных минералов.

Теллур

Теллур самородный — Te — тригональной сингонии. Призматические и игольчатые кристаллики, также сплошные тонкозернистые агрегаты оловянно-белого цвета. Черта серая, блеск металлический. Твердость — 2—2,5; хрупкий, уд. вес — 6,1—6,3. Растворяется в конц. H_2SO_4 с образованием карминово-красного раствора $TeSO_3$.

В аншлифах R 63, цвет белый с легким кремовым оттенком, ΔR отчетливое (от белого до светло-коричневого), сильно анизотропен. Внутренних рефлексов нет, по отн. рельефу гр. I.

Положительно действуют: HNO_3 (чернеет); $AgNO_3$ (иризирует, коричневый налет); $FeCl_3$ (иризирует); царская водка (желто-коричневый налет).

Мелкие неправильные выделения в ассоциации с теллуридами и сульфидами, халцедоном, родохрозитом, самородным золотом, в рудах низкотемпературных и реже среднетемпературных гидротермальных

месторождений. Сходен с самородными висмутом и сурьмой, в отличие от которых сильно анизотропен и заметно двуотражает.

Мелонит — $NiTe_2$ — сингония гексагональная. Образует пластинки желтовато-розового или красновато-белого цвета, с сильным металлическим блеском.

Твердость — 1—2, ковкий.

В аншлифах R 63—65, цвет бело-розовый, ΔR слабое (заметно в иммерсии), анизотропен (в иммерсии довольно заметно). Внутренних рефлексов нет, по отн. рельефу гр. I—II. Действуют положительно: HNO_3 (вскипает, поверхность минерала чернеет); $FeCl_3$ (слабое коричневое пятно); $HCl \pm$ (иногда слабое коричневое пятно).

В виде мелких неправильных выделений ассоциирует обычно с другими теллуридами и минералами никеля в низко-среднетемпературных гидротермальных месторождениях. Иногда встречается в виде тонких пластинок в полях халькопирита или тонких мирмекитовых сростаний с тетрадимитом.

Креннерит — $(Au, Ag)Te_2$ — ромбической сингонии. Цвет серебристо-белый до латунно-желтого. Твердость — 2,5; хрупкий, уд. вес — 8,3. В аншлифах R 65—70 (по другим данным 57—59), цвет кремово-белый (едва отличим от цвета калаверита, несколько менее желтый), ΔR слабое (заметно с иммерсией), анизотропность отчетливая (сильнее чем у калаверита, нет полного погасания, видны темно-коричневые тона).

Внутренних рефлексов нет, по отн. рельефу гр. II.

Действуют положительно: HNO_3 (иризирующий налет); $FeCl_3$ и KOH (бурый налет, KOH иногда слабо). Стр. травление с помощью HNO_3 (выявляется спайность по 001).

Образует аллотриоморфные агрегаты, реже хорошо образованные зерна в ассоциации с другими теллуридами, сульфидами, самородным золотом в низкотемпературных гидротермальных месторождениях. Очень похож на калаверит и сильванит. В отличие от калаверита у креннерита спайность развивается в нескольких взаимно перпендикулярных направлениях, травление HNO_3 эффективнее, ΔR и анизотропность сильнее; у сильванита, наоборот, ΔR сильнее, чем у креннерита и часты двойниковые пластинки, отсутствующие у креннерита.

Калаверит — $AuTe_2$ — моноклинной сингонии. Цвет серебристо-белый, с желтоватым оттенком, блеск металлический. Твердость 2,5, хрупкий, спайность отсутствует (отличие от креннерита). Уд. вес около 9. П. п. тр. на угле сплавляется в темно-серый королек; с содой дает королек золота. В конц. H_2SO_4 при нагревании разлагается, окрашивая раствор в красновато-фиолетовый цвет. В HNO_3 выпадает осадок золота ржавого цвета. В аншлифах R 58—66, цвет кремово-белый или светло-желтый, ΔR слабое (заметно у границ зерен), анизотропность отчетливая, но слабая.

Внутренних рефлексов нет, по отн. рельефу гр. II — близко (чуть ниже) к галениту, самородному золоту и немного выше, чем у гессита и пираргирита.

Действуют положительно: HNO_3 (быстро бурет, затем чернеет); $FeCl_3 \pm$ (слегка бурет). Стр. травление с HNO_3 (1:1).

Образует аллотриоморфные агрегаты или реже идиоморфные кристаллы в ассоциации с другими теллуридами, самородным золотом, сульфидами в рудах низкотемпературных гидротермальных месторождений.

Сходен с креннеритом (заметна спайность, выше содержание серебра) и с сильванитом (R ниже, чем у калаверита, анизотропность намного сильнее и с цветным эффектом, содержание серебра намного выше).

Теллуrowисмутит — Bi_2Te_3 — тригональной сингонии. Цвет оловянно-белый, черта свинцово-серая, блеск металлический, сильный на плоскостях спайности. Образует зернистые агрегаты и пластинки — гибкие, но не эластичные. Твердость—1,5—2, уд. вес—7,8.

П. п. тр. легко плавится, давая белый дым. В открытой трубке дает белые продукты возгона— TeO_2 .

В аншлифах R 58, цвет белый с кремовым (или светло-желтым, розоватым) оттенком, ΔR очень слабое (в иммерсии на границах зерен—ясное), анизотропность отчетливая, а в иммерсии очень отчетливая, с коричневыми тонами в диагональном положении.

Внутренних рефлексов нет, по отн. рельефу гр. I—II, ниже, чем у галенита и висмутина, но выше тетрадимита, алтаита, гессита.

Действуют положительно: HNO_3 (быстро, иногда медленно становится темно-коричневым, с сильным вскипанием; после стирания остается иризирующая поверхность); от $FeCl_3$ слабый налет; HCl и $HgCl_2 \pm$.

Обычны таблитчатые выделения, иногда изогнутые и с ясной спайностью по (0001). Ассоциирует с другими теллуридами, особенно часто с очень близким по свойствам тетрадимитом, висмутином, галенитом, самородным золотом в рудах гидротермальных месторождений. От очень близкого по свойствам алтаита отличается светло-желтым оттенком и анизотропностью (алтаит имеет зеленоватый оттенок и изотропен), а от тетрадимита уверенно можно отличить лишь с помощью рентгеноструктурного или полного химического анализа (в тетрадимите присутствует 4,5% S).

Тетрадимит — Bi_2Te_2S — тригональной сингонии. Часто в виде листоватых или пластинчатых агрегатов. Цвет стально-серый, блеск металлический, сильный.

Твердость—1,5—2; уд. вес около 7,5, спайность весьма совершенная по (0001). П. п. тр., в отличие от похожего на него молибденита легко плавится; с Cs и KI дает ярко-оранжевый налет (реакция на Bi). Растворяясь в конц. H_2SO_4 окрашивает ее при нагревании в характерный для теллура пурпурный цвет. Легко растворим в HNO_3 . З аншлифах R 55—53, несколько ниже, чем у близкого к нему по свойствам теллуrowисмутита.

Цвет белый, со слабым желтым оттенком, ΔR очень слабое (заметно в иммерсии на границах зерен), анизотропность отчетливая (с коричневатыми тонами в диагональном положении).

Внутренних рефлексов нет, по отн. рельефу гр. I—II, ниже, чем у галенита, висмутита, теллуrowисмутита, но выше, чем у гессита, петцита, близок к рельефу алтаита.

Действуют положительно: HNO_3 (быстро, иногда медленно становится темно-коричневым, с сильным вскипанием; после стирания остается иризирующая поверхность); от $FeCl_3$ слабый налет; HCl и $HgCl_2 \pm$.

Образует зернистые агрегаты или таблитчатые выделения, иногда мирмекитовые срастания с замещающими его галенитом и висмутином; известны структуры распада теллуrowисмутита и висмутита в полях тетрадимита.

В виде включений, обязанных распаду твердого раствора, встречается часто в галените и реже в борните. Ассоциирует с другими теллуридами, висмутином, галенитом, самородным золотом в рудах гидротермальных месторождений.

Алтаит — $PbTe$ — кубической сингонии. Обычно в виде сплошных зернистых агрегатов, изредка в форме кубических кристаллов. Цвет оловянно-белый с желтоватым оттенком. Блеск металлический, сильный.

Твердость—3—3,5, хрупкий, совершенная спайность по кубу; уд. вес—8,1—8,2. П. п. тр. на угле окрашивает пламя в голубой цвет и сплавляется в шарик. Раствор в крепкой H_2SO_4 окрашивается в пурпурный цвет (характерная реакция на Te). В аншлифах R 60, цвет белый, с зеленоватым оттенком, ΔR нет, изотропен, или очень слабо анизотропен. Внутренних рефлексов нет, по отн. рельефу гр. I—ниже галенита, креннерита, калаверита, но немного выше, чем у гессита.

Действуют положительно: HNO_3 (вскипает, бурет, радужная побежалость); HCl и $FeCl_3$ (радужная побежалость).

Часто образует мелкие включения среди сульфидов или сростки с другими теллуридами и самородным золотом.

Ассоциирует с другими теллуридами, галенитом, сфалеритом, самородным золотом, карбонатами в рудах гидротермальных месторождений.

По ряду признаков под микроскопом алтаит можно смешать с самородными сурьмой и теллуrom, дискразитом, теллуrowисмутитом, тетрадимитом. В отличие от них алтаит изотропен, имеет зеленоватый оттенок, дает радужную побежалость от HCl и микрохимическую положительную реакцию на Pb .

Гессит — Ag_2Te — ромбической сингонии (по А. Г. Бетехтину известен в двух модификациях—кубической и моноклинной).

Цвет свинцово-серый, иногда с зеленоватым оттенком, блеск металлический. Твердость—2,5—3, уд. вес—8, 25—8, 45.

П. п. тр. плавится в черный королек, который в восстановительном пламени по мере охлаждения покрывается дендритами серебра. Раствор в конц. H_2SO_4 окрашивается в пурпурный цвет (характерная реакция на Te).

В аншлифах R 40—42, цвет серовато-белый, ΔR слабое; анизотропность отчетливая, с цветным эффектом от темно-оранжевого до темно-голубого.

Внутренних рефлексов нет, по отн. рельефу гр. I.

При травлении HNO_3 выявляется структура, поверхность буреет; от 20% KCN слабо чернеет. При нагревании до $155^\circ C$ переходит в изотропную кубическую модификацию.

Образует агрегаты полигональных зерен и отдельные идиоморфные кристаллы, иногда мирмекитовые срастания с сильванитом. Ассоциирует с другими теллуридами, самородными золотом и теллуром в низкотемпературных гидротермальных месторождениях.

В аншлифах гессит можно смешать с аргентитом; последний слабее анизотропен и имеет с иммерсией зеленоватый оттенок, в то время как у гессита оттенок коричневатый.

Петцит — Ag_3AuTe_2 — кубической сингонии. Цвет свинцово-серый до стально-серого, блеск металлический. Твердость—2,5—3, уд. вес—8,7—9,2.

Поведение п. п. тр. такое же, как у гессита. В аншлифах R 38—42, цвет серовато-белый с лиловым или коричневатым (рядом с галенитом) оттенком.

ΔR слабое, анизотропность намного слабее, чем у гессита, но все же заметна.

Внутренних рефлексов нет, по отн. рельефу гр. I—ниже, чем у сильванита и колорадоита.

Положительно действуют: HNO_3 (вскипает, буреет); $FeCl_3$ (быстро стирающийся налет).

Образует двойниковые пластинки или аллотриоморфнозернистые агрегаты и срастания с гесситом, калаверитом и другими теллуридами и самородным золотом в низкотемпературных гидротермальных месторождениях.

Точное отличие от других сходных теллуридов затруднительно. Можно смешать с колорадоитом ($HgTe$), который однако травится HNO_3 намного медленнее.

Нагиагит — $Pb_5Au(Te, Sb)_4S_{5-8}$ — моноклинной (или псевдотетрагональной?) сингонии.

Цвет темно-свинцово-серый, черта серовато-черная. Образует листоватые или зернистые агрегаты с металлическим блеском. Твердость—1—1,5, спайность весьма совершенная по (010), уд. вес—7,2—7,5.

П. п. тр. легко плавится и с содой дает королек золота. Свинец и сурьма на угле образуют налеты окислов.

В HNO_3 растворяется с выделением золота в виде ржавого осадка. В аншлифах R от 35 до 40, цвет серовато-белый, ΔR слабое (в отличие от молибденита), анизотропность слабая, но заметна. Внутренних рефлексов нет, по отн. рельефу гр. II—намного ниже, чем у сильванита. Положительно действует HNO_3 (иризация).

Характерны таблитчатые выделения, тонкие полисинтетические и паркетоподобные двойники со спайностью. Ассоциирует с другими теллуридами и самородным золотом в низкотемпературных гидротермальных месторождениях.

От других теллуридов, с которыми он часто ассоциирует, нагиагит отличается пониженным значением R , а от похожего на него молибденита — слабым ΔR и слабой анизотропией.

Монтанит — $Bi_2TeO_4(OH)_4$ — моноклинной сингонии. Образует землистые корки и налеты белого цвета с желтоватым или зеленоватым оттенком.

$Ng-Np=0,01$, оптически отрицательный с малым $\angle 2v$. Твердость — низкая, уд. вес около 3,8, легко плавится и растворяется в разбавленной HCl .

Характерный минерал зоны окисления руд, содержащих теллуриды.

Редкоземельные элементы и иттрий

Монацит — $CePO_4$, моноклинной сингонии. Обычно таблитчатые, реже призматические и пирамидальные кристаллики. Цвет желтовато-бурый, красный, изредка зеленый. Блеск стеклянный, жирный. В шлифах $Ng-Np=0,052$, оптически положительный, $2v$ — от 11 до 14° , $cNg=2-10^\circ$.

Твердость — $5-5,5$; уд. вес — $4,9-5,5$, часто радиоактивен (примесь ThO_2). Обычен в гранитных пегматитах, гранитах и в щелочных сиенитах, где узнается по таблитчатым формам кристаллов темно-желтой или красновато-бурой окраски. Ассоциирует с апатитом, цирконом, бадделитом, флюоритом, велеритом и др. Порошок монацита, смоченный H_2SO_4 , при прокаливании окрашивает пламя в зеленый цвет. В HCl с трудом растворяется, выделяя белый осадок. Химически устойчив и накапливается в россыпях.

Ксенотит — YPO_4 , тетрагональной сингонии. В виде призматических кристаллов, похожих на кристаллы касситерита и циркона. Цвет желтовато-бурый, красный, серый; черта светло-бурая или красноватая. Блеск стеклянный, восковой или жирный. Оптически положительный, $Ng-Nm=0,095$ (по другим данным — $0,107$). Твердость — $4-5$, хрупкий, с неровным изломом; уд. вес — $4,45-4,59$, часто радиоактивен (примесь ThO_2 , UO_2). Смоченный H_2SO_4 окрашивает пламя в синевато-зеленый цвет. В отличие от сходных с ним циркона, рутила и касситерита имеет более низкую твердость и другие оптические свойства в прозрачных шлифах.

Встречается в гранитах и пегматитах в ассоциации с цирконом, ортитом, монацитом и др.

Чёрчит — $YPO_4 \cdot 2H_2O$, ромбической сингонии. Образует мелкие таблитчатые кристаллики и налеты бледного дымчато-серого цвета, с красным оттенком.

В прозрачных шлифах $Ng-Np=0,034$, оптически положительный, $2v$ — близок к 0° .

Твердость — $3-3,5$; уд. вес — $3,14$.

Рабдофанит — $CePO_4 \cdot H_2O$, гексагональной сингонии. Обычно образует землистые, сферолитовые, корковые или зернистые агрегаты

зеленоватого, желтого, коричневого цвета. Блеск жирный, излом неровный до раковистого. Минерал непрозрачен, твердость—3; уд. вес 3,77—4,01. Оптически одноосный, положительный, в шлифах почти бесцветен или слегка окрашен, со слабым плеохроизмом от коричневатого по *Ne* до бесцветного по *No*. $Ng - Ne - No = 0,03 - 0,05$. В пламени паяльной трубки легко теряет воду, но не плавится. Легко растворяется в *HCl*.

Дебаеграмма весьма сходна с дебаеграммой монацита. Обычно представляет гипергенное образование по редкоземельным минералам, встречается также в осадочных породах (песчаниках) и лимонитовых рудах, изредка в виде эпитермальных образований в парагенезисе с цеолитами в щелочных пегматитах.

Бастнезит — $Ce(CO_3)F$, тригональной сингонии. Кристаллы имеют призматический и таблитчатый облик. Цвет восково-желтый, красноватый, бурый. Блеск стеклянный. Оптически положительный, $Ng - Nm = 0,101$.

Твердость—4—4,5; спайность по (0001); уд. вес—4,47—5,18. П. п. тр. не плавится. Легко растворяется в *HCl* (шипит). Характерен для карбонатитов, а также в гидротермальных жилах, связанных с щелочными интрузивами, часто в ассоциации с монацитом, апатитом, флюоритом, ортитом, цирконом, флюоцеритом, сидеритом, баритом и др.

Паризит — $Ce_2Ca(CO_3)_3F_2$, гексагональной сингонии. В виде кристалликов призматического или остро-дипирамидального облика. Цвет буровато-желтый, с красноватым оттенком. Блеск стеклянный. Оптически положительный, $Ng - Np = 0,081$. Твердость—4,5; уд. вес—4,32—4,36. П. п. тр. не плавится. *HCl* растворяет медленно (вначале вскипает).

Характерен для карбонатитов, встречается также в пегматитах и гидротермальных жилах среди щелочных пород. Ассоциирует с бастнезитом, монацитом, цирконом, апатитом, флюоритом, иногда бериллом и др.

Гадолинит — $YFeBe_2[Si_2O_8]O_2$, моноклинной сингонии. Цвет буроватый или зеленовато-черный, образует сплошные массы или вкрапленные зерна. Блеск стеклянный или смоляной.

В прозрачных шлифах $Ng - Np = 0,010$; оптически положительный, $2v = 85^\circ$, $cNg = 6 - 10^\circ$. В измененном виде изотропен с $N = 1,78$.

Твердость—6,5—7; уд. вес—4,0—4,65. П. п. тр. сильно раскаляется. В *HCl* растворяется с выделением студенистого кремнезема. Сильно радиоактивен.

Встречается главным образом в гранитных пегматитах, реже среди самих гранитов в ассоциации с топазом, касситеритом, флюоритом, цирконом, гранатом, ортитом, фергусонитом и др.

Лопарит — $(Na, Ce, Ca)(Ti, Nb)O_3$, кубической сингонии. Встречается обычно в виде кубических кристаллов, почти всегда двойникованных по флюоритовому закону.

Цвет черный или серовато-черный, черта коричнево-бурая, блеск полуметаллический.

В тонких шлифах просвечивает буровато-красным цветом. $N=2,3-2,4$; твердость—5,5—6, излом неровный; уд. вес—4,75—4,89.

П. п. тр. не плавится. Порошок лопарита с содой на угле с трудом сплавляется. Раствор сплава в HCl при кипячении с оловом окрашивается в фиолетовый цвет (реакция на Ti); затем появляется голубая окраска (реакция на Nb). Вполне разлагается в HF .

Известен из обогащенных эгирином нефелиновых сиенитов, также в пегматитах в ассоциации с эвдиалитом, пирохлором, цирконом, сфеном.

Давидит — $(Fe^{2+}, La, Ce, U)_2(Ti, Fe^{3+})_5O_{12}$, тригональной сингонии. Обычно образует неправильные выделения, реже таблитчатые кристаллы, с хорошо развитыми гранями пинакоида, призмы и пирамиды. Излом раковистый, твердость—6, уд. вес—4,33—4,48. Цвет и черта серо-черные, непрозрачен или слабо просвечивает красновато-бурым. R в отраженном свете около 19%. Встречается в гранитных пегматитах, альбититах, скарнах, иногда в элювиальных россыпях.

Ортит — $CeCaFeAl_2[SiO_4][Si_2O_7]O(OH)$, моноклинной сингонии в толстотаблитчатых, иногда шестоватых кристаллах. Цвет бурый, смоляно-черный, изредка желтый. Просвечивает или иногда почти прозрачный. Блеск стеклянный, смолистый, жирный. $Ng-Ap$ обычно 0,01—0,02, у измененных разностей до 0,032. Плеохроичен, оптически отрицательный, $2v$ —большой ($74-84^\circ$). Твердость—6, хрупок, излом близок к раковистому; уд. вес—4,1, радиоактивен (примесь ThO_2, UO_2).

П. п. тр. вспучивается и легко плавится в бурое или черное пузырчатое, часто магнитное стекло. Обычно разлагается HCl с выделением студня кремнезема.

Встречается в кислых интрузивных породах и связанных с ними пегматитах.

Ассоциирует с цирконом, ильменитом, сфеном, эпидотом, монацитом, гадолинитом, флюоритом, апатитом и др.

Стенstrupин — $CeNaMnSi_3O_9$, тригональной сингонии. Цвет темно-бурый, почти черный; черта бурая, блеск смоляной. В тонких шлифах обычно изотропный (результат метамиктного распада), $N=1,65-1,66$.

Твердость—4—5, излом раковистый; уд. вес—3,1—3,4.

Обычно связан с щелочными сиенитами.

Гагаринит — $Na(Y, Ca, Na)_2F_6$, гексагональной сингонии. Обычно в неправильных выделениях, иногда в виде шестигранных призматических кристаллов с ясной спайностью по призме. Твердость около 4,6; уд. вес—4,21.

Цвет розоватый, желтый или бесцветен. Блеск матовый, стеклянный.

Одноосный, положительный, с $Ne-No=0,020$.

Частично растворяется в воде.

Обнаружен в 1958 г. в рибекитовых альбитизированных гранитах

Казахской ССР в ассоциации с пироксеном, цирконом, астрофиллитом, бастнезитом, иттрофлюоритом. При выветривании замещается итриевыми карбонатами.

Перовскит — CaTiO_3 , кубической сингонии (известна более низкотемпературная ромбическая модификация).

Кристаллы имеют кубический облик, с штриховкой параллельно ребрам куба; встречаются почковидные образования. Цвет серовато-черный, красновато-бурый, оранжево-желтый и светло-желтый. Черта белая или серовато-желтая. Блеск алмазный. $N = 2,34$, двупреломление очень низкое. Твердость—5,5—6, спайность по кубу ясная, уд. вес около 4. Очень характерен кубический облик кристаллов, грани которых покрыты перпендикулярно ориентированными короткими штрихами (параллельно ребрам). П. п. тр. не плавится. Разлагается кипящей H_2SO_4 , или после сплавления с KHSO_4 . Перовскит, содержащий редкие земли, связан как с основными, так и с щелочными и кислыми породами. Ассоциирует с магнетитом, сфеном, гранатом и др.

ЛИТЕРАТУРА К РАЗДЕЛУ «ОПИСАНИЕ И ДИАГНОСТИКА ГЛАВНЫХ МИНЕРАЛОВ РЕДКИХ, РАССЕЯННЫХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ»

Амирян Ш. О. К минералогии золоторудных месторождений. ДАН Арм. ССР, т. 31, № 1, 1960.

Амирян Ш. О. Некоторые черты металлогении золота и золотоносные ассоциации минералов в Армянской ССР. Изв. АН Арм. ССР, сер. «Науки о Земле», т. 21, № 4, 1968.

Бетехтин А. Г. Минералогия. Госгеолиздат, 1950.

Волынский И. С. Определение рудных минералов под микроскопом. Издат. «Недра», 1966.

Генкин А. Д., Королев Н. В. К методике определения небольших зерен минералов в руде. «Геология рудных месторождений», № 5, 1961.

Геохимия, минералогия, генетические типы месторождений редких элементов. Издат. «Наука», т. I, II, III, 1964—1966.

Дэна Дж. Д., Дэна Э. С., Пэлач Ч., Берман Г., Фрондель К. Система минералогии, т. I—II. ИЛ, 1950—1954.

Ляхович В. В. Акцессорные минералы и рациональная номенклатура гранитоидов. «Сов. геология», № 9, 1963.

Михеев В. И. Рентгенометрический определитель минералов. Госгеолтехиздат, 1957.

Петровская Н. В. Минералогия и геохимия селена, теллура, индия и кадмия. Изд. ВИМС, 1958.

Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. ИЛ, 1962.

Семенов Е. И. Минералогия редких земель. Минералогия, генетические типы минерализации и основные черты геохимии редкоземельных элементов. Изд. АН СССР, 1963.

Соболева М. В., Пудовкина И. Д. Минералы урана. Госгеолтехиздат, 1957.

Хвостова В. А. Минералогия ортита. Тр. ИМГРЭ АН СССР, вып. II, 1962.

Шубникова О. М. Минералы редких элементов и их диагностика, ч. I, 1952.

Юшко С. А. Методы лабораторного исследования руд. 3-е изд. Изд. «Недра», 1966.

Bowie S. H. U., Horne J. E. Cheralite, a new mineral of the monazite group. Min. Mag. 30, N 221, 1953.

Shouten C. Determination tables for ore microscopy. Amsterdam—New-York, 1962.

Strunz H. Mineralogische Tabellen. 3 Aufl. Leipzig, 1957.

Uytendogaardt W. Tables for microscopic identification of ore minerals. Princeton, 1951.

ПРЕДПОСЫЛКИ И МЕТОДЫ ПОИСКОВ ОТДЕЛЬНЫХ РЕДКИХ, РАССЕЯННЫХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Общие предпосылки к организации поисков редких, рассеянных и редкоземельных элементов должны исходить из благоприятного сочетания главных факторов, контролирующих оруденение: структурного, магматического и литологического, которые учитываются и при поисках обычных металлов.

Так, например, карбонатитовый тип месторождений, с которым связаны концентрации ниобия, тантала, циркония, редких земель образуется в пределах щитов-платформ, контролируется крупными зонами разломов, вдоль которых внедрялись ультраосновные-щелочные комплексы. Пегматиты с редкометальной минерализацией (бериллий, тантал, ниобий, литий и др.) также размещены главным образом в пределах щитов, их активизированных вдоль разломов участков, по которым внедрялись интрузии кислых и щелочных пород, сопровождавшихся пегматитами. Альпийские складчатые структуры с умеренно-кислыми гранитоидами и медно-молибденовой минерализацией наиболее благоприятны в отношении концентрации такого рассеянного элемента как рений, тесно связанный с молибденитом и т. д.

Далее следует учитывать состав горных пород, благоприятных в отношении концентрации тех или иных редких и рассеянных элементов и генетические типы месторождений, в которых наиболее часто они концентрируются. Как характерные примеры таких связей, можно привести пегматитовый тип месторождений с обычными концентрациями *Ta, Nb, Zr, Li, Be* и других элементов, или телетермальный (осадочный?) тип медистых песчаников со значительными концентрациями рения, полиметаллические и сульфидно-касситеритовые месторождения с повышенными содержаниями кадмия и индия и др.

В общем случае можно отметить, что генетический тип месторождений предопределяет успех поисков в их рудах определенного набора редких и рассеянных элементов. Большое значение имеют ассоциации элементов, ибо обычно редкие и рассеянные металлы сопровождают в рудах близкие им по геохимическим свойствам более обычные элементы; так, рений ассоциирует с молибденом и в меньшей мере с медью,

индий ассоциирует с цинком и оловом; селен и теллур—с медью, золотом; таллий—с калием (в силикатах) и свинцом, сурьмой, мышьяком (в сульфидах и сульфосолях) и т. д. Для успеха поисков определенного рассеянного элемента большое значение имеют провинциальные особенности минерализации, типрудной провинции, специфика его оруденения. Подобно тому как выделяются оловорудные, меднорудные, золоторудные и другие провинции и металлогенические эпохи, благоприятные для концентрации названных и других металлов, в настоящее время уже накопился материал для выделения, например, рениеносных провинций (Закавказье, Средняя Азия, Казахстан), индиеносных провинций (Кавказ, Забайкалье) и др.

При поисках редких и рассеянных металлов, как и в деле поисков более обычных металлов, широкое применение получили геохимические методы поисков (Сауков, 1963). Главным методом при этом является металлометрия, изучающая ореолы и потоки рассеяния, образующиеся около месторождений в результате миграции элементов: в процессе образования месторождения (первичные ореолы) и позднее, в процессе его разрушения (вторичные ореолы рассеяния). Металлометрия применяется широко и с успехом при поисках «трудно открываемых», не имеющих выходов на поверхность месторождений: *Sn, W, Mo, Pb, Zn, Cu, Au, U, Th, Hg, Co, Ni, B, Be, Se*, нефти, горючих газов и других полезных ископаемых.

Менее широко применяются пока гидрогеохимические и биогеохимические методы поисков, за которыми надо признать большое будущее.

Для руд радиоактивных металлов (уран, торий, радий), а также *Zr, Ta, Nb, TR, Be*, которые часто содержат примесь радиоактивных металлов или ассоциируют с ними, применяются различные радиометрические методы поисков (Суражский, 1960).

Из других методов поисков можно отметить также изотопный (для поисков месторождений *U* и *Th* по соотношению изотопов свинца) и метод нейтронного каротажа (для поисков месторождений *B* и *Be*).

При геохимических поисках изучаются первичные и вторичные ореолы рассеяния в горных породах и почвах, водах, подземных атмосферах, растениях и животных организмах. Соответственно различают методы: металлометрический, гидрохимический, атмохимический, биогеохимический.

Металлометрические поиски производят: 1) по открытым ореолам в делювиально-элювиальных отложениях и почвах; 2) в аллювии (метод донных отложений); 3) по погребенным ореолам рассеяния; 4) по ореолам рассеяния в коренных горных породах.

Во всех этих случаях для производства массовых анализов применяются различные методы определения редких и рассеянных элементов: спектральный, колориметрический, люминесцентный, полярографический, микрохимический и др. При поисках в рудах мелких включений самостоятельных минералов рассеянных элементов (германия,

галлия, индия, рения и др.) большую помощь оказывает минераграфический метод изучения полированных шлифов руд при больших увеличениях и с применением электронного микроскопа и приборов типа МАР-1 и др.

Ниже приведены краткие данные о предпосылках и методах поисков руд отдельных редких, рассеянных и редкоземельных элементов.

Тантал и ниобий (колумбий)

Оба металла тесно связаны с гранитоидами и щелочными интрузиями, также ультраосновными-щелочными (в карбонатитах). Обычна ассоциация $Ta-Nb$, но Nb теснее ассоциирует с Ce , Th , Na , Ca , Ba , Sr , в то время как Ta — с Y , U , Bi , K , Li , F . Наиболее важными типами месторождений Ta и Nb являются собственноматматический (лопарит, колумбит, перовскит), карбонатитовый (пирохлор, перовскит), гранитные пегматиты, грейзенизированные и альбитизированные граниты и сиениты (тантало-колумбит, пирохлор), а также элювиально-делювиальные и аллювиальные россыпи. Для минералов тантала и ниобия характерен буровато-черный до черного цвет, таблитчатый (тантало-колумбит, эксенит, поликраз) или октаэдрический (пирохлор-микролит, лопарит) облик кристаллов.

Характерна ассоциация с альбитом, мусковитом, турмалином, цирконом, вольфрамитом, касситеритом, реже с монацитом, ксенотимом, и для лопарита с эгирином и эвдиалитом. Хорошим геохимическим индикатором является турмалин (Гинзбург, 1954); при интенсивном развитии альбитизации, с которой связано обычно $Ta-Nb$ и Sn -оруденение в пегматитах, широко развиты синие (индигилит) или зеленые (верделит) турмалины. Касситериты пегматитов и грейзенов обычно содержат примесь Ta и Nb ; по соотношению $Nb:Ta$ можно оценить пегматитовые поля в отношении их ниобий- или танталоносности.

Так как минералы Ta и Nb содержат часто примесь радиоактивных элементов или сопровождаются минералами урана и тория — при поисках их коренных месторождений и россыпей применяются радиометрические методы.

Бериллий (глиуциний)

Концентрации бериллия связаны с гранитоидами и щелочными интрузиями. Важными типами промышленных месторождений являются гранитные пегматиты, в особенности сподуменовый их подтип, и скарновые гелвинсодержащие руды. Весьма перспективным типом являются грейзенизированные и альбитизированные граниты и гранодиориты с мелкокрапленой берилл-берtrandитовой минерализацией.

Характерна ассоциация Be с Ta , Nb , Li , TR в пегматитах и с Sn , W , Mo , Bi , F в скарновых и грейзеновых месторождениях. Берилл характеризуется призматическим габитусом кристаллов обычно желто-зеленого цвета, в ассоциации со слюдами, топазом, турмалином, флюо-

ритом, касситеритом, вольфрамитом, в то время как гелин кубической сингонии, желто-бурого цвета, очень похож на гранат (в отличие от него порошок гелина растворяется в HCl с выделением H_2S).

Наиболее трудно диагностируется берtrandит, который в виде мелких бесцветных или бледно-желтых призматических и таблитчатых кристалликов рассеян в грейзенизированных и альбитизированных гранитах и гранодиоритах.

В последнее время при поисках и разведке бериллиевых руд начали применять метод нейтронного каротажа.

Цирконий и гафний

Оба металла связаны с гранитоидами и щелочными интрузиями, причем гафний, не образуя самостоятельных минералов, входит в виде изоморфной примеси в состав циркониевых минералов—циркона, бадделита, эвдиалита и др.

Главным поставщиком циркония и гафния являются современные и ископаемые россыпи циркона; из коренных месторождений важное значение имеют бадделитовые месторождения, карбонатиты и альбитизированные и микроклинизированные граниты и щелочные породы. Характерна ассоциация минералов циркония и гафния с минералами Ti , TR , Nb , иногда с U и Th .

Методы поисков—шлиховой и радиометрический.

Литий

Элемент тесно связан с гранитоидами, причем типична ассоциация лития с Na , F , Be , B , в гранитных пегматитах, а также с Sn , W , F в грейзенах.

В осадочных процессах связан с рапой $Na—B$ соляных озер. Главные минералы лития—сподумен, амблигонит и литиевые слюды плавают перед паяльной трубкой, окрашивая пламя в красный цвет (реакция на Li).

Показателем литиевой минерализации является лиловый лепидолит, розовые или полихромные турмалины, светлые и розовые бериллы. Появление черных фосфатов является показателем на сподуменовую минерализацию (Гинзбург, 1954). Надежным поисковым методом на литий является гидрогеохимия (определение лития в водах и почвах).

Цезий и рубидий

Связаны с гранитной магмой и концентрируются в пегматитах и грейзенах, а в осадочных условиях в месторождениях карналлита. Цезий образует самостоятельный минерал—поллуцит, который ассоциирует в пегматитах с бериллом, тантало-колумбитом, сподуменом, лепидолитом, рубеллитом, клевеландитом. Поллуцит очень похож макроскопически на кварц, но в отличие от него кубической сингонии, изотроп-

ный, плавится перед паяльной трубкой в белую эмаль, окрашивая пламя в красновато-желтый цвет.

Рубидий не образует самостоятельных минералов; входит в состав микроклина—зеленой его разновидности амазонита, а также в виде изоморфной примеси в литиевые слюды.

По содержанию цезия и рубидия в аксессуарных литиевых слюдах гранитов и пегматитов можно делать выводы о возможном наличии в пегматите поллуцита и обогащенных рубидием и цезием микроклина и амазонита.

С к а н д и й

Связан с гранитными пегматитами и грейзенами, где ассоциирует с *Sn*, *W*, *Ta*, *Nb*, *TR*, а также с основными интрузиями в виде изоморфной примеси в пироксенах и амфиболах. Иногда накапливается в углях, фосфатах. Хорошим индикатором на скандий является ортит из пегматитов, в котором имеет место концентрация скандия.

Наиболее благоприятны в отношении поисков на скандий гранитные пегматиты, богатые цирконием, гафнием, иттрием, образованные в пределах древних структур, на больших глубинах (Ферсман, 1940).

Б о р

Согласно А. Е. Ферсману, надежными признаками для определения боратов являются: белоснежный цвет минералов, радиальнолучистое строение их агрегатов, трудная растворимость в воде.

В основе поисков бора должны быть палеогеографические схемы, развитие пустынных процессов, тектонические поднятия с образованием соляных куполов.

Концентрации боратов связаны с молодыми вулканическими выделениями (сассолин) или с осадочными процессами—последними осадками умирающих солеродных бассейнов, когда после солей *K* и *Na* в кровле соляных куполов с гипсом накапливаются ашарит, гидроборцит, пандермит и другие бораты.

Перспективны нефтяные и сопочные воды, горячие термы и соффионы, часто содержащие бор.

Интерес представляют некоторые скарновые месторождения датолит-людвигит-магнетитовых руд и зоны турмалинизации в гранитоидных массивах.

К а д м и й

Ассоциирует с полиметаллическими рудами, особенно тесно связан со сфалеритом, его светлыми разновидностями (клеюфан) или колломорфными образованиями вюртцита. Прямыми поисковыми признаками яв-

ляются желтые налеты гринокита, желтоватые тона галмеев, богатых кадмием. Хорошие результаты при поисках кадмия в рудах дает спектральный анализ.

Галлий. Искать его следует в рудах средне-низкотемпературных месторождений полиметаллических руд в ассоциации с Pb , Zn , As , Ge , а также в нефелиновых сиенитах, бокситах, алунитах (ассоциация $Ga^{3+}-Al^{3+}$), осадочных рудах железа (ассоциация $Ga^{3+}-Fe^{3+}$), углях.

Геохимической провинцией, обогащенной галлием, является Алтай.

Германий тесно связан с полиметаллическими месторождениями средних-низких температур, в особенности с рудами, залегающими среди карбонатных пород (Ge не рассеивается, как это имеет место в силикатных породах) и обогащенными сульфосолями олова, теннантитом, энаргитом, борнитом, или сфалеритом. Выделение германия имеет место в виде собственных минералов—германита, реньерита и др., которые устанавливаются микроскопически, или германий концентрируется в сфалерите, теннантите, борните в виде, по-видимому, изоморфной примеси.

В осадочных процессах Ge концентрируется в углях, сланцах, битумах, рудах железа.

Надежным методом поисков на германий является спектральный анализ руд, пород, отдельных минералов.

Индий тесно связан с полиметаллическими и касситерит-сульфидными месторождениями, причем наиболее благоприятны в отношении обнаружения повышенных концентраций индия руды, содержащие темные разности сфалерита (железистые марматиты) или деревянистый касситерит и сульфосоли олова—цилиндрит, франкеит, тиллит и др.

Согласно данным Н. М. Прокопенко (1941), выделяются обогащенные индием провинции: Забайкалье, Средняя Азия, Кавказ, рудник Сулливан (Канада) и др. Наиболее обогащены индием руды варисийского и киммерийского, частью альпийского металлогенических циклов.

Надежным методом поисков индия в рудах является спектральный анализ. В отдельных случаях положительную роль может играть детальное микроскопическое исследование руд с задачей выявления самостоятельных минералов индия—индита, джалиндита и др. в тесном парагенезисе с деревянистым касситеритом и сульфосолями олова.

Таллий. Обычно концентрации таллия связаны с неглубокозалегающими малыми интрузиями гранит-порфиров, гранодиорит-порфиров, кварц-порфиров, а также с липаритами и трахилипаритами. Концентрации таллия имеют место в сравнительно низкотемпературных рудах свинца и цинка, меди с большой ролью дисульфидов железа (пирит, марказит), содержанием Sb и As , с широким развитием колломорфных структур руд.

Таллий дает повышенные концентрации также в реальгар-аурипигментовых и антимонитовых низкотемпературных гидротермальных рудах, в некоторых типах осадочных и эксгальационно-осадочных месторождений марганца.

Индикаторами на таллий являются колломорфные пирит и марказит, низкотемпературные вюртцит и сфалерит, галенит, антимонит, реальгар и аурипигмент, сульфоантимониты свинца в низкотемпературных гидротермальных месторождениях.

Иногда имеет место концентрация таллия вместе с *Rb* и *Cs* в гранитных пегматитах *Na—Li* типа (в лепидолите, поллуците, мусковите, амазоните, микроклине) и в пиролюзит-псиломелановых рудах некоторых месторождений марганца.

Надежный метод поисков таллия—спектральный анализ.

Рений. Тесно связан с молибденитом, в особенности среднетемпературных медно-молибденовых месторождений. Максимальные концентрации можно ожидать в сравнительно низкотемпературных и близповерхностных месторождениях.

Кроме молибденита, небольшое количество рения содержится также в халькопирите, пирите и других сульфидах медно-молибденовых месторождений.

Второй тип месторождений, где имеют место высокие концентрации рения уже в ассоциации с борнитом, халькозином и галенитом—телетермальные (или осадочные?) месторождения медистых песчаников типа Джезказгана, где установлен первый собственно рениевый минерал джезказганит— $Cu(Re, Mo)S_4$. Небольшие концентрации рения можно ожидать в некоторых марганцевых рудах осадочного и, в особенности, эксгальационно-осадочного типа.

Известны рениеносные провинции: Казахская ССР, Средняя Азия, Закавказье и др.

Надежным методом поисков является металлометрический и гидрогеохимический (на молибден и медь и связанный с ними рений) и спектральный и химический анализы.

Селен встречается в виде изоморфной примеси в сульфидах гидротермальных и других месторождений, частью в форме собственных минералов—селенидов в бедных серой гематит-карбонатных жилах.

Характерна также ассоциация с арсенидами и урановой смолкой. Повышенные концентрации селена чаще всего характерны для пирита, халькопирита, галенита, молибденита, сфалерита и других сульфидов. В осадочных условиях *Se* концентрируется в песчаниках и сланцах в ассоциации с ванадием, ураном, молибденом, медью. При поисках применяют биогеохимический и спектральный методы анализа.

Теллур встречается в виде изоморфной примеси в сульфидах гидротермальных и других месторождений и, довольно часто, образует самостоятельные минералы—теллуриды, обычные в некоторых типах золоторудных месторождений. Для теллуридов характерны пластинчатые формы выделений, сильный блеск, желто-зеленые вторичные продукты в зоне окисления, ассоциация с самородным золотом. Концентрации теллура образуются преимущественно в близповерхностных условиях, в связи с субвулканическими интрузиями.

Известны провинции, богатые теллуrom—Забайкалье, Кавказ, Зап. штаты США и др. Основные методы поисков на теллуrowые руды—гидрогеохимический и спектральный.

Редкие земли и иттрий. Тесно связаны, с одной стороны, с гранитоидами, с другой—с щелочными и ультраосновными-щелочными комплексами. Общее содержание гр. TR возрастает от ультраосновных и основных пород к кислым, но в ультраосновных—основных породах имеет место относительное обогащение элементами иттриевой группы (Балашов, 1963).

Главными типами месторождений гр. TR и Y являются пегматитовый, связанный с гранитами и гранитоидами щелочного ряда, и карбонатитовый в связи с ультраосновными-щелочными комплексами. Большое значение имеют прибрежно-морские и аллювиальные россыпи (монацит, ксенотим, фергусонит, эшенит и др.) и метаморфогенный тип рудоносных конгломератов.

Хороший метод поисков—шлиховая съемка и радиометрия (многие минералы TR радиоактивны или сопровождаются U и Th —содержащими минералами); спектральный анализ дает возможность определить сумму TR и отдельно гр. Se . При поисках TR группы иттрия следует иметь в виду обогащение элементами гр. Y некоторых гидротермальных месторождений, аплитов и пегматитов, фосфоритов.

Обогащение спессартина пегматитовых жил иттрием является прямым индикатором (Гинзбург, 1954) на обнаружение в теле пегматита таких богатых Y группой минералов, как ксенотим, фергусонит, таленит, гадолинит, тенгерит, иттриалит и др.

ЛИТЕРАТУРА К РАЗДЕЛУ «ПРЕДПОСЫЛКИ И МЕТОДЫ ПОИСКОВ ОТДЕЛЬНЫХ РЕДКИХ, РАССЕЯННЫХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ»

- Балашов Ю. А. Закономерности распределения редкоземельных элементов в земной коре. «Геохимия», № 2, 1963.
- Беус А. А., Субботин К. Д. Литий, бериллий и фтор как индикаторы глубинных поисков бериллиеносных гранитоидов. «Сов. геология», № 5, 1964.
- Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. Изд. АН СССР, 1957.
- Виноградов А. П. Поиски рудных месторождений по растениям и почвам. Тр. Биогеохим. лаб., т. 10, Изд. АН СССР, 1964.
- Геологическое строение СССР, т. IV. «Основные закономерности размещения месторождений полезных ископаемых на территории СССР». Изд. «Недра», 1968.
- Геология россыпей. Сб. Изд. «Наука», 1965.
- Геохимические методы поисков рудных месторождений. Сб. перевод. статей под ред. В. И. Смирнова. ИЛ, 1954.
- Гинзбург А. И. О минералах—геохимических индикаторах и их значении при поисках руд редких металлов в пегматитах. ДАН СССР, т. 98, № 2, 1954.
- Гинзбург А. И. Опыт разработки теоретических основ геохимических методов поисков руд цветных и редких металлов. Госгеолтехиздат, 1957.
- Гинзбург А. И. Некоторые вопросы геохимии германия и поисковые признаки богатых германиевых руд. Сб. «Геология месторождений редких элементов», вып. 5. Госгеолтехиздат, 1958.

- Гинзбург А. И., Заболотная Н. П. и др. Берtrandит-фенакитовые месторождения—новый тип бериллиевого сырья. В сб. «Геслогия м-ний редких элементов», вып. 27. Изд. «Недра», 1965.
- Говоров И. Н. Особенности минерализации и генезиса олово-бериллий-флюоритовых месторождений Дальнего Востока. «Изв. АН СССР», сер. геол., № 1, 1958.
- Иванов В. В. Некоторые поисковые признаки на таллий. «Разведка и охрана недр», № 11, 1958.
- Иванов В. В., Поплавко Е. М., Горохова В. Н. Геохимия рения. Изд. «Наука», 1969.
- Измененные околорудные породы и их поисковое значение. Сб. статей под ред. Н. Н. Курека. Госгеолтехиздат, 1954.
- Королев А. В. Эндогенное рудообразование в истории Земли. Изб. труды. Изд. АН Узб. СССР, 1963.
- Красников В. И. Основы рациональной методики поисков рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1959.
- Магакян И. Г. Типы рудных провинций и рудных формаций СССР. Изд. «Недра», 1969.
- Малюга Д. П. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений. Изд. АН СССР, 1963.
- Мелков В. Г., Пухальский Л. Ч. Поиски месторождений урана. Госгеолтехиздат, 1957.
- Перельман А. И., Сауков А. А. Геохимические основы поисков рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1957.
- Перельман А. И. Геохимия ландшафта. Географгиз, 1961.
- Прокопенко Н. М. Поисковые признаки на индий. ДАН СССР, т. 31, № 1, 1941.
- Сауков А. А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. Изд. МГУ, 1963.
- Сергеев Е. А. Физико-химический метод поисков рудных залежей. Матер. ВСЕГЕИ. Геофизика. Сб. 9—10. Госгеолтехиздат, 1941.
- Смирнов В. И. Геологические основы поисков и разведок рудных месторождений. Изд. МГУ, 1964.
- Соловьев А. П. Основы теории и практики металлометрических съемок. Изд. АН Казах. ССР, 1959.
- Суражский Д. Я. Генетические типы промышленных месторождений урана. «Атомная энергия», № 2, 1956.
- Суражский Д. Я. Методы поисков и разведки месторождений урана. Атомиздат, 1960.
- Ферсман А. Е. Геохимические и минералогические методы поисков. Издат. АН СССР, 1940.
- Янишевский Е. М., Григорян С. В., Баранов Э. Н., Вертепов Г. И., Каблуков А. Д. Эндогенные ореолы рассеяния некоторых гидротермальных месторождений. Госгеолтехиздат, 1963.
- Hawkes H. E., Webb J. S. Geochemistry in Mineral Exploration. Harpers Geoscience Series, New-York, 1962.
- Turekian K. K., Wedepohl K. N. Distribution of the elements in some major units of Earth's crust. Bull. Geol. Soc. America, v. 72, N 2, 1961.

СПИСОК ПРИНЯТЫХ В КНИГЕ СОКРАЩЕНИЙ

бл. руды—блеклые руды
внутр.—внутренние
гр.—группа
конц.—концентрированная
подгр.—подгруппа
п. п. тр.—перед паяльной трубкой
отн.—относительный
стр.—структура

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	5
Генетическая классификация месторождений редких, рассеянных и редкоземельных элементов	7
Описание отдельных элементов	15
Раздел I. Редкие элементы	—
Тантал и ниобий (колумбий)	—
Бериллий (глюциний)	19
Цирконий и гафний	22
Литий	25
Рубидий и цезий	28
Скандий	29
Бор	33
Раздел II. Рассеянные элементы	35
Кадмий	—
Галлий	37
Германий	39
Индий	43
Таллий	46
Рений	49
Селен	54
Теллур	57
Раздел III. Редкоземельные элементы и иттрий	62
Заключение	70
Общая и справочная литература по редким, рассеянным и редкоземельным элементам	71
Приложение 1. Описание и диагностика главных минералов редких, рассеянных и редкоземельных элементов	76
Приложение 2. Предпосылки и методы поисков отдельных редких, рассеянных и редкоземельных элементов	100

ИВАН ГЕОРГИЕВИЧ МАГАКЬЯН

РЕДКИЕ, РАССЕЯННЫЕ
И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

*Печатается по решению ученого совета
Института геологических наук АН Арм. ССР*

Отв. редактор А. Е. Кочарян
Редактор издательства Р. А. Штибен
Обложка К. К. Кафадаряна
Техн. редактор М. А. Капелян
Корректор Г. А. Абрамян, А. А. Мкртчян

ВФ 03968. Заказ 853. Тираж 100

Изд. 3337. РИСО 1295

Сдано в производство 5.XI 1970 г.

Подписано к печати 20.X 1971 г.

Печ. л. 7,0, усл. печ. л. 9,8, изд. 7,25 л.

Бумага № 1, 70×108¹/₁₆ Цена, 1 р. 13 к.

Типография Издательства АН Армянской ССР
г. Эчмиадзин

52