

И. Г. МАГАКЬЯН

РАССЕЯННЫЕ
и
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ
МЕТАЛЛЫ

Exposing Crime History of a boy
w/IV-57i. Ad Harvey



ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
ԳԵՈՒՆԳԻԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

Ն. Գ. Մաղաքյան

ՅՐԿԱԾ
ԵՎ ՀԱԶՎԱԳՅՈՒՏ
ՀՈՂԱՅԻՆ
ՄԵՏԱՂՆԵՐ



ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՐԻ ԳԱ ՀՐԱՏԱՐԱԿՋՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆ 1957

И. Г. Магакьян

РАССЕЯННЫЕ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ



*Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Академии наук Армянской ССР*

А Н Н О Т А Ц И Я

В работе дается краткая сводка данных по применению, добыче, типам руд, генетическим типам месторождений и поисковым признакам рассеянных и редкоземельных металлов: Ta, Nb, Be, Zr, Hf, Li, Cs, Rb, TR, B, Cd, Ga, Ge, In, Re, Tl, Te, Se, которые в последние годы приобрели исключительно важное значение в современной технике.

При составлении сводки использована соответствующая глава учебного пособия автора „Рудные месторождения“ (издание 1955 года), значительно пополненная всеми доступными новыми материалами.

Работа рассчитана на широкий круг геологов и ее задача — способствовать правильному направлению исследований по изысканию сырьевых ресурсов рассеянных и редкоземельных металлов.

„Мы стоим на пороге полного подчинения нам всех элементов Менделеевской таблицы“.

(А. Е. Ферсман, 1938)

За последние два-три десятилетия XX века исключительное значение в современной технике (автоматике, электронике, радиотехнике, атомной промышленности) приобрели рассеянные и редкоземельные элементы, которые содержатся обычно в качестве примесей в рудах различных типов месторождений и извлекаются попутно с главным полезным ископаемым месторождения.

Естественно, намечается разделение рассеянных элементов на две большие группы:

I. Элементы, рассеянные в горных породах (главным образом в акцессорных минералах), пегматитах, грейзенах и скарнах. Образуют часто промышленные концентрации в россыпях.

II. Элементы, рассеянные в сульфидных рудах гидротермальных, главным образом, месторождений цветных и некоторых редких металлов.

К первой группе относятся: тантал (Ta), ниобий (Nb), бериллий (Be), цирконий (Zr), гафний (Hf), литий (Li), цезий (Cs), рубидий (Rb), элемен-

ты группы редких земель — лантаноиды и близкие к ним церий, иттрий, скандий (TR, Ce, Y, Sc), а также бор (B).

Ко второй группе относятся: кадмий (Cd), галлий (Ga), германий (Ge), индий (In), рений (Re), таллий (Tl), теллур (Te), селен (Se).

В таком порядке излагаются ниже краткие данные по промышленному применению и природным условиям нахождения указанных элементов.

ТАНТАЛ И НИОБИЙ (КОЛУМБИЙ) (Ta и Nb)

Открыты в 1801—1802 гг., получили большое применение в последнее десятилетие. Металлический тантал получен в 1903 г., а ниобий лишь в 1929 году.

Тантал и ниобий тугоплавкие*, кислотоупорные металлы высокой твердости и пластичности; применяются в производстве антикоррозионных и специальных сортов сталей и сплавов, из которых изготавливаются паровые турбины, выхлопные системы двигателей внутреннего сгорания, радиотехническая, радиолокационная и рентгеновская аппаратура (используется способность Ta и Nb поглощать газы — водород, азот и кислород).

Тантал и ниобий применяются также в сетках электронных ламп и трубок, как выпрямители переменного тока, заменители платины, в производстве вооружения, хирургических инструментов и фильер в промышленности, вырабатывающей искусственный шелк. Карбиды Ta и Nb приближа-

* t плавления тантала 2850—3000° С, ниобия 2415—2500° С.

ются по твердости к алмазу, обладают очень высокой температурой плавления NbC — 3500°C, TaC около 3800°C и широко применяются в режущих инструментах.

Мировая (зарубежная) добыча превышает 2500 т колумбитовых и танталитовых концентратов в год (более 2000 т падает на колумбит). Основным источником являются россыпи, связанные с разрушением гранитных пегматитов; 95 % продукции колумбитовых концентратов падает на Нигерию, а главными поставщиками танталитовых концентратов являются россыпи Бельгийского Конго, Бразилии и Австралии. В последнее время открыты крупные коренные месторождения, содержащие промышленные концентрации ниобия и тантала.

Кларк Ta 0,0002 %, Nb 0,003 % (по А. П. Виноградову, 1950). Оба металла тесно связаны с гранитными и щелочными интрузиями.

Характерна ассоциация Ta и Nb с Be, Li, Sn, W, также U, Ti, Zr, Rb, Cs в гранитных пегматитах и Nb (с резко подчиненным количеством Ta) с Zr, TR, Ti, Ga в тесной связи с щелочными интрузиями (нефелиновыми сиенитами и др.).

Главнейшие минералы тантала и ниобия следующие:

Колумбит (Fe, Mn) Nb₂O₆; до 82 % Nb₂O₅.

Танталит (Fe, Mn) Ta₂O₆; до 86 % Ta₂O₅.

Лопарит (Na, Ce, Ca) (Nb, Ti)O₃; до 11 % Nb₂O₅ и 1 % Ta₂O₅.

Пирохлор (Na, Ca...)₂ (Nb, Ti)₂O₆ (F, OH); до 63 % Nb₂O₅ или 77 % Ta₂O₅ (разность, богатая танталом, называется микролитом).

Разновидность пирохлора, богатая ниобием и церием, называется „коппит“, содержит до 56—62 % Nb_2O_5 .

Перовскит CaTiO_3 ; до 1,5 % Nb и 2 % TR.

Кроме того касситерит из пегматитов и грейзенов содержит нередко до 4 % $\text{Ta}_2\text{O}_5 + \text{Nb}_2\text{O}_5$, вольфрамит и эвдиалит содержат до 0,5 % Ta_2O_5 , циркон до 2 % Nb_2O_5 и 0,3 % Ta_2O_5 , сфен до нескольких % Nb_2O_5 и 0,1 % Ta_2O_5 . Ta и Nb содержатся также иногда в рутиле, ильмените, меланите, замещаая частично Ti.

Генетические типы месторождений

1. Магматические месторождения лопарита, связанные со щелочными породами, теснее всего с малиньитами (меланократовыми нефелиновыми сиенитами) и уртитам (эгирин-нефелиновыми породами).

Эти породы слагают стратифицированные горизонты, прослеженные по простиранию на десятки км при мощности 0,1—1 м и содержании лопарита от 2,5 до 20 %. Здесь сосредоточены огромные запасы Nb и значительные Ta, TR, Ti, Th.

Технология извлечения металлов из лопарита разработана, и за этим типом большое будущее, особенно в СССР.

2. Пегматиты щелочных пород (с лопаритом, ильменорутилом, пирохлором), известные на Кольском полуострове и на южном Урале (Вишневые горы).

3. Пегматиты гранитных магм (с танталитом, колумбитом, бериллом, сподуменом, касситеритом) в альбитизированных участках пегматита, где со-

держание колумбита и танталита составляет 0,03—0,1 % и больше. К этому типу относятся месторождения северо-восточной Бразилии, Бельгийского Конго, Нигерии, а также крупное месторождение Воджина в западной Австралии (богато танталитом, содержит берилл и до 1 % Cs_2O в виде полупита).

Аллювиальные россыпи, связанные с разрушением месторождений этого типа, дают главную массу колумбитовых и танталитовых концентратов.

4. Скарновые и метасоматические, так называемые „карбонатитовые“ месторождения, генетически связанные со щелочными интрузиями и залегающие среди карбонатных пород (известняков, доломитов).

Месторождения этого типа развиты широко и известны в ряде районов СССР, в Африке (в Уганде, Танганьике, Кении, северной Родезии, Мозамбике, Трансваале, юго-западной Африке), Бразилии, США, Норвегии, Германии.

Среди этих месторождений выделяют близповерхностные, типа „кольцевых вулканов“ или трубок взрыва, и более глубинные, представленные скарновыми зонами или метасоматическими жилами.

Состав руд: перовскит, пирохлор, апатит, иногда также циркон, бадделейт, монацит, урановый ториянит, магнетит и др. минералы.

Масштаб месторождений этого типа нередко крупный, содержания Nb_2O_5 в руде 0,3—0,5 % и выше, что придает им большой интерес.

Типична ассоциация: Nb—Ta—Ti—TR—Zr—Th—U.

5. Высокотемпературные гидротермальные и пневматолитовые кварцевые жилы и грейзены, обычно оловоносные и вольфрамоносные с примесью тантало-колумбита.

К этому типу относятся некоторые месторождения Забайкалья, Нигерии и юго-западной Африки.

6. Элювиально-делювиальные и в особенности аллювиальные россыпи колумбита (Нигерия), танталита (Бразилия, Бельгийское Конго) и пироклора, содержащего Nb, Ta и U (Каффо-Валлей в Уганде). Россыпи дают почти всю современную мировую добычу Ta и Nb.

Интересно отметить, что для колумбитовых россыпей Нигерии отмечается связь с разрушением не только пегматитов, но и гранитов, коренные массивы которых содержат 300 граммов колумбита на 1 м³ породы и могут разрабатываться, когда наступит истощение россыпей.

БЕРИЛЛИЙ (Be)

Минералы берилл и изумруд были известны в глубокой древности за пять тысяч лет до открытия бериллия (1798 г.)*. Бериллиевая промышленность создана в 1930 году.

Бериллий — металл с удельным весом 1,84, применяется в сплавах с Cu (маллорай) и Al (бе-

* Открытие бериллия приписывается французскому химику Вокелену, который по просьбе минералога Гуи пробовавал установить химическое тождество берилла и изумруда. Римский ученый Плиний Старший в I в. н. э. считал, что берилл и изумруд очень близки между собой.

ралит) — в самолетостроении, судостроении; моторостроении; добавка всего 0,01 % Be в магниевые сплавы предотвращает их возгорание даже при t до 700°C . Cu—Be бронза (Be 2,5—3 %) имеет прочность стали. Широко применяются также сплавы Be с Ni, Zn, Fe.

Значительные количества Be или его соединений применяются в изготовлении экранов и „окон“ рентгеновских трубок, ответственных рес-сор и пружин, высокоизоляционного фарфора для зажигательных свечей, прочной эмали для покрытия алюминия, а также изготовления различных деталей атомных реакторов*, телевизионных и электронных приборов, антикатодов циклотронов, электродов неоновых сигнальных ламп. Под действием α -лучей или дейтронов, бериллий, один или в смеси с препаратами Ra, начинает интенсивно испускать нейтроны, что используется в технике расщепления атомных ядер.

Следует отметить, что работа с бериллием и его соединениями представляет значительную опасность для здоровья.

В 1953 г. добыто берилловых концентратов 9000 т, главным образом в Бразилии (70 % добычи), Индии, Аргентине, Австралии, США.

Кларк Be 0,0006 %, элемент связан с гранитной и реже щелочной магмами, концентрируется

* Бериллий применяется как замедлитель быстрых нейтронов в реакторах, использующих природный уран. Использование бериллия в реакторах различных типов в качестве одновременно и замедлителя и отражателя нейтронов сводит их рассеивание к минимуму и ведет к повышению мощности реактора.

в пегматитах, высокотемпературных гидротермальных месторождениях, реже в скарнах и средне-низкотемпературных гидротермальных рудах.

Главные минералы:

берилл $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$; Be 5,1 % (BeO 14,1 %),
гельвин $\text{Mn}_8[\text{BeSiO}_4]_6\text{S}_2$; Be 4,9 % (BeO 13,6 %).

Меньшее значение имеют хризоберилл — BeAl_2O_4 (Be около 7 %) и фенакит — Be_2SiO_4 (Be 16 %).

Примесь Be установлена в везувиане и grosсуляре скарновых зон (до 1 % BeO), в аксините (до 0,1 % BeO), ортите (до 4 % BeO). Бериллий концентрируется иногда в цеолитах и некоторых растениях (зола пшеницы содержит до 2 % Be), золе углей (до 0,8 % Be).

В последнее время устанавливается концентрация Be в щелочных породах, в особенности щелочных пегматитах, в которых обнаружены новые Be — содержащие силикаты. Нефелин щелочных пород содержит 0,001—0,01 % Be, эгирин и баркевикит 0,01—0,1 %; вероятно, Be может получаться как побочный продукт при производстве глинозема из нефелиновых концентратов и пород.

Генетические типы месторождений

1. Пегматиты гранитных магм — полнодифференцированные и блоковые с крупнокристаллическим бериллом, минералами лития (сподуменом и лепидолитом) и турмалином (часто рубеллитом), тантало-ниобатами, касситеритом.

Месторождения этого типа известны в Калбинском рудном районе (Казахская ССР), в северо-восточных штатах Бразилии, Аргентине, западной Австралии (Воджина), Канаде, США (Блэк-Хилл в

штате южная Дакота) и др.*, Индии (Раджастхане), Трансваале, Мозамбике, южной Родезии, Марокко, Мадагаскаре. Это главный сейчас тип месторождений.

2. Десилицированные пегматиты, залегающие среди серпентинитов, с флогопит-биотитовыми оторочками, обогащенными изумрудом.

С пегматитами тесно связаны более поздние гидротермальные жилы, богатые флюоритом, апатитом, сульфидами и бериллом; последний трех генераций: светло-зеленый, молочно-белый (главный промышленный) и мелкокристаллический. К этому типу относятся месторождения района Изумрудных копей (Урал) и Намакваленда в юго-западной Африке.

3. Высокотемпературные гидротермальные и пневматолитовые кварцевые жилы и грейзены с касситеритом, вольфрамитом, молибденитом, бериллом. К этому типу относятся месторождения Забайкалья, ряд месторождений в Казахской ССР и изумрудные копи Музо и Костец в Колумбии.

4. Скарновые месторождения, среди которых следует выделить два подтипа:

а) гелъвиновые месторождения (Железная гора в США, Гортеколлен в Норвегии и ряд проявлений в Средней Азии и Казахской ССР),

б) фенакит-хризоберилловые месторождения с обильным флюоритом (месторождения Дальнего Востока).

Следует отметить также концентрацию Ве

* Сподуменовые пегматиты в Кинг Монтан (США, штат северная Каролина) содержат 300 000 т берилла, главным образом мелкокристаллического, для извлечения которого разрабатываются методы обогащения флотацией.

(0,01% в среднем) в рудах отдельных скарновых месторождений полиметаллов, в виде низкотемпературного штокверкового оруденения кварц-халцедон-пирит-гельвиновых прожилков, отложенных позднее свинцово-цинкового оруденения.

В штатах Аризона и Юта (США) открыты крупные по запасам потенциально промышленные месторождения бедных руд берилла в гранитах. Берилл приурочен к зонам трещиноватых обесцвеченных красноватых гранитов и представлен мелкими светлоокрашенными кристалликами.

Среди скарновых месторождений бериллия наибольший интерес представляет месторождение *Железная гора* (Айрон Маунтин) в штате Нью-Мексико, открытое в 1941 году.

Район сложен осадочной толщей палеозойского возраста, пересеченной дайками риолита, мелкозернистого гранита и аплита третичного возраста. В контакте гранитов с известняками образовались скарны, причем в богатых магнетитом разностях их установлены промышленные концентрации Fe и W.

Выделяются две разности скарнов: массивная магнетит-андрадитовая, слагающая крупные тела до 30 м мощности, и полосчатая, в которой слои, богатые магнетитом, чередуются с флюорит-гельвиновыми слоями мощностью обычно 0,2 м. Эта ленточная порода („ribbon rock“) образует тела неправильной формы в контакте интрузивных массивов между более ранним магнетит-андрадитовым скарном и известняком, причем граница со скарнами резкая, с известняками — нечеткая.

Ленточная порода рассматривается как про-

дукт позднейшей стадии гидротермального метасоматического процесса, наложившегося на скарный.

Гидротермальные растворы приносили Fe, Mn, Zn, Be, F и ряд других элементов; в эту стадию образовались: гельвин, даналит (железистая разновидность гельвина), Be — содержащийgrossуляр, розовый эпидот, флюорит. Гельвин очень похож на гранат — изотропен, $N = 1,730 - 1,758$, в отличие от гранатов растворяется в крепкой HCl с выделением H_2S .

Содержание Be в промышленных рудах описанного месторождения 0,4%, запасы Be около 30 тыс. т.

ЦИРКОНИЙ (Zr) ГАФНИЙ (Hf)

Минерал циркон был известен в глубокой древности и использовался как драгоценный камень; металлический цирконий получен в 1914 году, а элемент цирконий был установлен Клапротом еще в 1789 году.

Металлический чистый цирконий пластичен, плавится при t 1900—2130°C.

Цирконий применяется в производстве быстрорежущих инструментов, броневых плит, в сплавах с медью, заменяющих бериллиевые сплавы, в кислотоупорных и магнитных сплавах с Ni и Co (до 20% Zr), а также в сплавах с W, Mo и в виде легирующей добавки к сталям (до 0,35% Zr), идущим на судостроение. Цирконий используется также в производстве радиоламп, электронных ламп, в вакуумной технике и взамен тантала — в некото-

рых сплавах. Расплавленный цирконий рассматривается как новый источник света большой яркости, а окись циркония с t плавления $2700-2900^{\circ}\text{C}$ является очень ценным огнеупорным материалом, а также применяется в производстве специальных сортов фарфора, эмалей и стекол.

Кларк циркония $0,025\%$, он тесно связан с гранитной и щелочной магмами и концентрируется чаще всего в пегматитах (цирконовый тип пегматитов А. Е. Ферсмана).

Главные минералы:

циркон Zr SiO_4 ; ZrO_2 67% ; до 2% HfO_2

бадделейт* ZrO_2 , ZrO_2 до 93% ; $0,5-1,2\%$ HfO_2

эвдиалит $(\text{Na}, \text{Ca})_6 \text{Zr Si}_6 \text{O}_{17} (\text{O}, \text{OH}, \text{Cl})$; ZrO_2 $12-14,5\%$; до $0,4\%$ HfO_2 .

Ежегодно из морских прибрежных россыпей Австралии, частично Индии и Бразилии добывается до $40-50$ тысяч т цирконовых концентратов, которые и служат основным источником получения циркония и тесно с ним связанного гафния.

Богатые ископаемые россыпи циркона (вместе с ильменитом и рутилом) установлены и в СССР — на Урале и Украине.

Гафний тесно связан с цирконием, самостоятельных минералов не образует. Предсказан в 1870 г. Д. И. Менделеевым, открыт только в 1923 г.

* Бадделейт является продуктом выветривания эвдиалита и образует промышленные скопления в Бразилии в связи с выветриванием крупного массива нефелинового сиенита на границе штатов Мингс Гераес и Сан-Пауло. Известны также концентрации бадделейта магматического генезиса.

венгерским химиком Г. Хевеши рентгеноспектральным путем в соединениях циркония.

С 1951 года гафний начал применяться как составная часть тугоплавких сплавов с Мп, Сг, Fe, Co, Ni, Cu, Ag в изготовлении катодов рентгеновских трубок, нитей накаливания в электрических лампочках, а также в атомной промышленности и производстве пороха.

Благодаря значительной электронной эмиссии гафний рассматривается как металл весьма перспективный для применения в радио- и электро-технике. В виде добавки ($0,1-3\%$ HfO_2) применяется в вольфрамовых, молибденовых, танталовых нитях накаливания.

Кларк гафния $3,2 \cdot 10^{-4}\%$, содержится в качестве примеси ($0,5-2\%$ HfO_2) в минералах циркония.

Интересно отметить, что в цирконах, связанных с гранитной магмой, отношение $\text{HfO}_2 : \text{ZrO}_2 = 0,015$, в то время как в цирконах, связанных с нефелиновыми сиенитами, это отношение $= 0,04$, т. е. последние значительно богаче гафнием*.

ЛИТИЙ (Li)

Литий открыт в 1817 г. шведским химиком Арфедсоном в минерале петалите; в чистом виде получен в 1855 году.

Литий самый легкий металл, удельный вес его 0,534, производство начато в 20-х гг. нынеш-

* В минерале альвите (разность циркона) из пегматитов Норвегии содержится 16% HfO_2 ($\text{HfO}_2 : \text{ZrO}_2 = 40:100$), а в тортвейтите $(\text{Sc}, \text{Y})_2\text{Si}_2\text{O}_7$ содержание HfO_2 выше, чем ZrO_2 .

него столетия и резко возросло (в 50 раз) за последнее пятилетие (1950—55 гг.), в связи с широким применением лития в атомной промышленности и, в частности, в производстве водородных бомб. При бомбардировке атомов Li протонами H в циклотроне образуются атомы He . Если сложить массу атомов Li и H — сумма больше, чем масса двух атомов He . Первая сумма составляет 8,02631, вторая — 8,00778, потеря = 0,01853.

7g Li и 1 g H , переходя в 8g He , при этой небольшой потере массы выделяют энергию, эквивалентную той, которая получается при сжигании 50 т лучшего битуминозного угля.

Металлический Li применяется в сплавах с Mg , Al , Zn и Be (сплав 70% Mg + 30% Li с удельным весом 1,4) и с удельным весом до 1, в самолетостроении.

Добавка сотых долей процента лития придает твердость Pb и Al , добавка до 10% Li к меди, бронзам, латуням повышает их сопротивление на разрыв (так называемая пушечная бронза). Литий используется как заменитель олова в подшипниках, а также в производстве щелочных аккумуляторов, эмали, стекла, фаянса, смазочных жиров, красок, рефрижераторов.

Порошковатый гидроксид Li поглощает большие количества CO_2 и используется для кондиционирования воздуха в подводных лодках.

Мировое производство карбоната лития в 1955 году превысило 10 тысяч т, главным образом в США на базе сырья, завозимого из Канады, южной Родезии, Бразилии, Австралии, частично за счет собственных ресурсов сырья.

Производство лития организовано также в СССР.

Кларк лития $0,005\%$, элемент связан с гранитной магмой и концентрируется в пегматитах, грейзенах, высокотемпературных пневматолитовых и гидротермальных месторождениях в ассоциации с Be, Ta, Nb, Sn, W, Cs, Rb.

Литий концентрируется иногда в соляных озерах (в форме Li_2NaPO_4) и в водах минеральных источников. Отмечается концентрация в некоторых почвах (до $0,5\%$), морских красных и бурых водорослях и в золе табака (до $0,44\%$ Li). Источниками лития являются, главным образом, следующие минералы:

сподумен $\text{Li Al}[\text{Si}_2\text{O}_6]$; до 8% Li_2O ,
петалит $(\text{Li}, \text{Na}) \text{AlSi}_4\text{O}_{11}$; $2-4,9\%$ Li_2O ,
амблигонит $\text{Li Al}(\text{F}, \text{OH})[\text{PO}_4]$ $8-10\%$ Li_2O ,
лепидолит $\text{KLi}_2\text{Al}[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{F}, \text{OH}]$ до 6% Li_2O .

Генетические типы месторождений

1. Пегматиты гранитной магмы. Этот тип очень распространен и играет большую роль в добыче. К нему относятся месторождения Канады (среди них огромное сподуменовое месторождение Ля Корн с запасами в 12 млн т руды при содержании $1,25\%$ Li_2O), крупные месторождения южной Родезии (пегматиты оловорудного поля Бикита с лепидолитом, петалитом, сподуменом и амблигонитом), северо-восточной Бразилии (в центральных зонах полосчатых пегматитов сподумен и амблигонит в ассоциации с микроклином, слюдой, бериллом, тантало-колумбитом), США (сподуме-

новые месторождения Этта и Тин-Маунтин), юго-западной Африки (Карибибе — лепидолит-амблигонитовые руды), зап. Австралии (Пильбара — пегматиты с танталитом, касситеритом, сподуменом).

К этому же типу относятся крупные пегматитовые (сподуменовые и сподумено-лепидолитовые) месторождения СССР (Завитинское в Забайкалье и др.).

Следует иметь в виду, что литиевые руды обычно комплексные и разрабатываются одновременно на Li, Be, Ta, Nb, Cs, Rb, драгоценные камни (розовые и полихромные турмалины, воробьевиты, кунциты и др.).

Как отмечает В. Н. Кузнецов, в существенно сподуменовых пегматитовых жилах сподумен ассоциирует с пластинчатым альбитом (клевеландитом), причем сподумен свежий и более поздний по отношению к альбиту.

Процессы накладываются в следующей последовательности: калиевый метасоматоз (образование микроклина), натровый метасоматоз (замещение микроклина альбитом), литиевый метасоматоз (развитие сподумена), что представляет закономерный геохимический процесс, определяемый величинами экв и радиусами ионов K, Na и Li.

2. Пневматолитовые жилы и грейзены с вольфрамитом, касситеритом, лепидолитом и циннвальдитом (в последнем содержится 1—3% Li_2O). К этому типу относятся некоторые месторождения Забайкалья и Северо-Востока СССР, Рудных гор, Португалии, юго-восточного Китая и др. Промышленное значение этого типа подчиненное.

3. Рассолы некоторых озер, где Li ассоциируется с солями K, содой, сульфатом Na, бурой и бромом. В пустотах раскристаллизованных солей располагается насыщенный рассол, содержащий 0,02% LiCl (или 0,0035% Li); рассол откачивается насосами и выпаривается. К этому типу относится месторождение озера Серлс (Калифорния) с крупными запасами Li, играющее заметную роль в литиевой промышленности США.

4. Воды минеральных источников Карлова Вара (Чехословакия), Виши (Франция), Дюркхейм (Германия) содержат до 0,4% LiCl и могут служить исходным сырьем для извлечения из них лития. Гейзеры Йеллоустонского парка содержат до 0,4% Li.

ЦЕЗИЙ (Cs) и РУБИДИЙ (Rb)

Открыты в 1860—1861 гг., кларк цезия $7 \cdot 10^{-4}\%$, рубидия $3 \cdot 10^{-2}\%$.

Цезий и рубидий получили промышленное применение в радиотехнике, автоматических контрольных и счетных устройствах, звуковом кино (в виде фотоэлементов), медицине (при лечении рака), взрывателях (Cs очень сильный катион, легко соединяется с кислородом), вакуумных лампах. Рубидий способен испускать электроны при действии очень слабого источника света; изотоп Rb^{87} с $T = 6,3 \cdot 10^{10}$ лет радиоактивен и переходит в Sr^{87} .

Оба элемента геохимически тесно связаны с гранитной магмой и дают концентрации в пегматитах вместе с Li, Be, Ta, Nb, в особенности в

в пегматитах, богатых Na (альбитом) и Li (сподуменом, лепидолитом).

Наибольшая концентрация Cs и Rb имеет место в минерале поллуците $\text{Cs}[\text{AlSi}_2\text{O}_6] \cdot \text{H}_2\text{O} < 1$, очень похожем на кварц (уд. вес поллуцита 2,975, $N = 1,520$, твердость 6,5 и падает до 5,25), содержит Cs_2O от 23,5 до 36,5% и Rb_2O до 3,73%.

Примесь Cs и Rb встречается в минералах лития и бериллия: в белом берилле месторождения Воджина (Австралия) 0,72% Cs_2O , в сером берилле оттуда же 0,92% Cs_2O .

Лепидолит содержит до 0,77% Rb—зеленый амазонит и K—шпат многих пегматитов содержат повышенные количества Cs и Rb (до 0,25% Cs_2O и до 3,12% Rb_2O)*.

Оба элемента содержатся в соляных залежах, в особенности в карналлите и сильвине, а также в воде ряда минеральных источников. Почвы содержат до 0,2% Rb и 0,05% Cs, зола сахарного тростника до 0,2% Rb.

Промышленные месторождения поллуцита известны в США, Южно-Африканском Союзе, Швеции, СССР.

Цифровых данных о добыче Cs и Rb по отдельным странам не приводится; главным источником Cs и Rb являются поллуцитовые руды, а также карналлит (последний в Германии).

* По В. М. Гольдшмидту лейцитовые концентраты Италии содержат до 0,34% Rb_2O и 0,023% Cs_2O ; некоторые биотиты содержат до 3,14% Cs_2O .

РЕДКИЕ ЗЕМЛИ — ЛАНТАНОИДЫ (TR) и СКАНДИИ

Редкоземельные элементы в сумме составляют около 0,005% состава земной коры, причем $\frac{1}{3}$ этого количества падает на церий.

Среди редкоземельных элементов выделяют две группы. Цериевая группа: Ce, La, Pr, Nd, Sm, Eu (церий, лантан, празеодим, неодим, циклоний (№ 61), самарий, европий).

Иттровая группа: Y, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu (иттрий, гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий, лютеций).

В промышленности давно применяется церий (в газовых колпачках горелок 99% Th + 1% Ce), в неоновых лампах, сплавах с Al и Mg, а также в виде CeO₂ для шлифовки оптических стекол. В последние годы Ce (0,02—0,2%) добавляется к чугуну и стали в качестве легирующего металла. Лантан применяется в керамике и сплавах с Al, а окись La в качестве утяжелителя шелка.

Из других редкоземельных элементов начинает получать большое промышленное значение иттрий в электродах дуговых ламп, особенно в получении ультрафиолетовых лучей.

Небольшое, но очень важное применение получили празеодим (в сплавах с Al, в авиации) и тулий (в производстве портативных рентгеновских аппаратов). Соединения церия, гадолиния, самария, европия входят в состав специальных люминофоров (светящихся порошков).

Геохимически группа TR наиболее тесно связана с щелочными и кислыми интрузиями и кон-

центрируется в пегматитах, грейзенах, скарнах, отчасти гидротермальных образованиях.

Главным источником редкоземельных элементов являются: монацит ($\text{Ce, La} \dots$) PO_4 с содержанием суммы TR_2O_3 до 68% (в том числе до 5% Y_2O_3), ксенотим YPO_4 с суммой TR до 63%, лопарит (Na, Ce, Ca) (Nb, Ti) O_3 с содержанием TR_2O_3 до 34% и гадолинит $\text{Y}_2\text{FeBe}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}$. Ортит содержит до 23% $\text{Ce}_2\text{O}_3 + \text{La}_2\text{O}_3$, апатит и ловчоррит — до 1,5% Y, слюды и топаз до 1%, касситерит до 0,1%, суммы — TR_2O_3 .

Промышленное значение имеют коренные месторождения, а также морские и аллювиальные россыпи монацита и ксенотима (в СССР, Бразилии, Индии).

Скандий (Sc) по ряду свойств близок к редкоземельным элементам иттровой группы. Предсказан Д. И. Менделеевым в 1871 г., назван экабором, открыт в 1879 г. Нильсоном. Кларк 0,0006%.

Скандий концентрируется в пегматитовую* и пневмалитовую стадии, входит изоморфно в колумбит и малакон (до 1%), гранаты скарновых зон, бедных железом (0,01—0,5%), ортит (0,02—0,1% до 1%), лепидолит и мусковит (до 0,4%), а также вольфрамит, касситерит (до 0,1—1% ScO_2), берилл, турмалин (до 0,04% ScO_2), иногда пироксен гипербазитов (до 0,01%).

В золе каменных углей содержится 60—400 г/т скандия. Воды, содержащие большое количество

* В пегматитах Норвегии и Мадагаскара обнаружен редкий минерал тортвейтит, состава $(\text{Sc, Y})_2\text{Si}_2\text{O}_7$, с содержанием 40% Sc_2O_3 .

гидрокарбонатного иона, богаты скандием (до 50—60 мг/литр).

Промышленное извлечение производится из вольфрамитовых и касситеритовых концентратов.

Температура плавления скандия 1400°C , а нитрида скандия (ScN) 2900° при высокой электропроводности. Имеются указания о применении скандия и его нитрида в электротехнике и сплавах, прогивостоящих действию высоких температур.

Б О Р (В)

Выделен в чистом виде в 1808 г.

Металлический бор твердый и хрупкий. Широко применяется в металлургии специальных сталей (вводится в виде FeB), где влияние В на сталь аналогично влиянию С, но гораздо более эффективно. Бориды Ti , Zr , Ta , Nb , Cr , Mo очень твердые и тугоплавкие, карбиды бора (B_4C и B_3C) тверже алмаза и царапают его.

Применяется „борирование“ быстрорежущих сталей и присадка В к сплавам.

Известно два изотопа B^{10} (18,83%) и B^{11} (81,17%). B^{10} сильно поглощает нейтроны и применяется для различных целей в ядерной физике; даже малое содержание бора мешает ядерным цепным реакциям.

Кларк В $3 \cdot 10^{-4}\%$; это литофильный элемент, связанный геохимически с кислыми гранитными магмами, накапливается в пегматитах и пневматолитовых образованиях и скарнах, а также в связи с вулканическими эксгаляциями (сассолин— H_3BO_3).

В экзогенных условиях концентрируется в виде боратов вместе с солями Na и Mg и в соленых озерах (В 0,06 % и больше).

По В. В. Щербина, В содержится в водах ряда горячих минеральных источников (до 28 % сухого остатка), грязевых вулканов (до 4 %), нефтяных и соленых водах (0,01—0,6 % В). В осадочных железных рудах морского происхождения содержится иногда до 0,1 % B_2O_3 . Некоторые растения способны концентрировать бор; в золе гороха содержится 0,5 % B_2O_3 , золе ржи — 0,02 %, золе бука — 0,5 %, морских водорослей *Laminaria* и *Fucus* 1 % B_2O_3 .

Главными источниками бора являются экзогенные бораты — бура ($Na_2B_4O_7 \cdot 10 H_2O$), пандермит ($Ca_5B_{12}O_{23} \cdot 9 H_2O$), ашарит ($MgHBO_3$), борацит ($Mg_6B_{14}O_{26}Cl_2$), колеманит ($Ca_2B_6O_{11} \cdot 5 H_2O$), гидроборацит ($MgCaB_6O_{11} \cdot 6 H_2O$), кернит ($Na_2B_4O_7 \cdot 4 H_2O$) и др., а также силикат бора — датолит — $CaBSiO_4[OH]$ и людвигит — $(Mg, Fe)_2Fe[BO_3]O_2$; последние два минерала дают промышленные скопления в скарных зонах некоторых железорудных и полиметаллических месторождений.

В последнее время в качестве сырья для извлечения бора рассматриваются также турмалин и богатые турмалином руды (медно-турмалиновое месторождение Браден в Чили, золото-турмалиновое Дмитриевское в Забайкалье и др.).

КАДМИЙ (Cd)

Кадмий открыт в 1817 г., и получил довольно широкое промышленное применение с начала XX

столетия. В 1953 г. выработка металлического кадмия достигла 7500 т, главным образом в США, попутно с производством цинка.

Кадмий применяется в баббитах, специальных легкоплавких сплавах, покрытиях (взамен Sn и Zn), кадмиевых бронзах (Cd до 1%) и производстве красок. Широкое применение получила медно-кадмиевая проволока в производстве троллейных проводов (небольшая примесь кадмия резко снижает истирание); кадмий применяется также в подшипниковых сплавах, щелочных аккумуляторах и фотоэлементах.

Имеются сообщения о разработке на базе сульфида Cd—CdS солнечных батарей с высоким коэффициентом полезного действия (КПД 8% и после доделок может быть доведено до 20%).

Кларк кадмия 0,00005% содержится в цинковых обманках, обычно медово-желтых, в количестве до 0,5—1%, изредка до 5% (в разности очень богатой кадмием — пришибрамите)*.

Основным источником промышленного получения кадмия служат цинковые концентраты.

Известны самостоятельные минералы кадмия — гринокит (CdS) с содержанием Cd 77% и отавит CdCO_3 с содержанием CdO 74,5%, но они не дают крупных концентраций и обычно представляют только минералогический интерес.

Гринокит образуется в зоне цементации, выделяясь в виде мелких желтых кристалликов и

* Примесь кадмия устанавливается также в алабандине, халькопирите, энаргите, галените, блеклых рудах, германите.

пленок на поверхности сфалерита и по трещинкам в сфалерите, пирите и других сульфидах. Отавит характерен для зоны окисления и присутствует в смитсонитовых и галмейных рудах.

Интересно отметить, что Cd обнаружен в теле некоторых моллюсков (до 0,04% на сухое вещество), а также в некоторых фосфоритах (0,01% Cd).

ГАЛЛИЙ (Ga)

Элемент со свойствами галлия предсказан Д. И. Менделеевым и описан в 1869 г. под названием эка-алюминий. В 1874 г. французский химик Лекок-де-Буабодран при спектральном анализе пиренейской цинковой обманки установил новый элемент, названный им галлием и по свойствам отвечающий эка-алюминию.

Любопытно отметить, что Менделеев в специальном письме на имя французской Академии отметил неправильное определение удельного веса (4,7) нового элемента и указал, что в соответствии с другими, описанными им свойствами, удельный вес галлия (эка-алюминия) должен составлять 5,9—6,0, что блестяще подтвердилось повторными определениями, давшими величину = 5,96.

Замечательным свойством галлия является низкая температура плавления (29,75°C) и высокая температура кипения (2000—2100°C); в связи с этим галлий применяется в термометрах по измерению высоких температур и контролю металлургических процессов. Галлий применяется в сплавах с Cd, Al и Zn в катодных лампах и лам-

пах с металлическими парами, галлиевых зеркалах с высокой отражательной способностью*, а также в сигнализационных и автоматических устройствах, радиолампах, оптических стеклах с высоким преломлением и в выпрямителях тока (взамен ртути). Добавка Ga к Al улучшает его пластические свойства, а к Mg — повышает временное сопротивление последнего разрыву.

Несомненно, галлию обеспечено широкое использование в автоматике и электронике**.

Кларк галлия 0,0015%, он охотно ассоциирует с Al, что, вероятно, обусловлено близостью радиусов ионов Al (0,57 Å) и Ga (0,62 Å). Самостоятельных минералов галлия неизвестно, максимальная концентрация (до 2%) установлена в германите— $\text{Si}_3(\text{Ge, Ga, Fe, Zn})\text{S}_4$ месторождения Тсумеб в юго-западной Африке.

Повышенные содержания галлия имеют место в минералах, богатых алюминием: нефелине (0,01—0,1% и выше), мусковите (до 0,1%), сподумене (до 0,07%), а также в сфалеритах, обычно светло-бурых (0,01—0,1% до 0,22% в пиренейском сфалерите), диаспоре, боксите, некоторых углях (после обжига в золе 0,04—1,58% Ga), в пыли (саже) газовых заводов (0,38—0,75% Ga_2O_3 и 0,29—1,24% GeO_2) и железных рудах.

Промышленное извлечение галлия производится из сфалеритовых концентратов, а также пыли, получаемой при газификации галлий-содер-

* Жидкий Ga хорошо прилипает к стеклу и отражает 88% падающего на него света.

** Галлий ценится за рубежом почти в 3 раза дороже золота.

жащих углей. Мировое производство в 1955 году составило несколько тонн (в США, Англии, Германии).

В связи с переработкой на глинозем нефелиновых концентратов и нефелиновых сиенитов, представляет большой интерес разработка методов извлечения галлия, связанного с нефелином.

Галлий концентрируется вместе с алюминием, причем после первой карбонатизации гидрат глинозема содержит всего 0,005 % Ga, после второй карбонатизации уже около 0,1 %.

Учитывая громадный масштаб переработки нефелиновых пород на глинозем, попутно могут быть получены десятки тонн галлия*.

ГЕРМАНИЙ (Ge)

Германий предсказан Д. И. Менделеевым в 1871 г. и назван эка-силицием. Основные свойства элемента описаны тогда же (атомный вес 72, удельный вес 5,5) и почти точно совпадают с установленными позднее, в 1886 г. (атомный вес 72,6, удельный вес 5,47), когда германий был официально открыт немецким химиком С. Винклером.

Интересно отметить, что Винклер восемь раз подряд производил полный анализ нового минерала, привезенного с месторождения Тсумеб (юго-западная Африка), и сумма каждый раз не сходилась почти на 7 %; он сделал отсюда правиль-

* По В. М. Гольдшмидту¹ Al и Ga, вероятно, можно разделить при электролизе алюмината и галлата натрия, применяя в качестве катода жидкую ртуть, собирающую металлический галлий.

ный вывод о наличии в составе минерала неизвестного элемента, названного им германием. Согласно анализу, минерал содержал $\text{Ag } 74,92\%$, $\text{Ge } 6,33\%$, $\text{S } 17,13\%$ и примеси $\text{Fe} + \text{Zn } 0,88\%$ и $\text{Hg } 0,31\%$; минерал был назван аргиродитом, формула его Ag_8GeS_6 .

Германий начал применяться в годы второй мировой войны для получения кристаллических детекторов с полупроводниковыми свойствами. Первым типом германиевых приборов, получившим промышленное значение, был диод, представляющий собой тонкий усик из металла, прижатый к тонкой пластинке германия высокой чистоты. К усикам и пластинке припаяны электрические проводники, и все вместе заключено в патрон размером с кукурузное зерно. Такой элемент действует как кристаллический выпрямитель и выполняет те же функции, что и вакуумная диодная лампа, имея преимущества в размерах, потреблении очень малой мощности и надежности.

С 1948 г. применяются германиевые триоды, известные как транзисторы. Малые размеры, надежность в работе и долговечность их (время службы до 10 лет) позволяют вводить значительные улучшения в конструкции и характеристики коммуникационной аппаратуры, счетно-решающих машин и других областях электроники.

Германий применяется широко в фотоэлектрических приборах и германиевых выпрямителях переменного тока и микроволн в радиотехнике, телевидении, радарных установках, полярографических аппаратах. Небольшие количества германия применяются в сплавах с алюминием, маг-

нием, медью, серебром, золотом; сплавы Ge с Au (Ge больше 8%) имеют свойство увеличиваться в объеме при затвердевании и могут быть использованы для точных отливок. Германиевые бронзы (Cu + более 25% Ge) кислотоупорны и растворяются только в царской водке. Двуокись германия в оптических стеклах повышает показатель преломления и дисперсии стекла.

Германиевые препараты применяются с успехом при лечении малокровия и сонной болезни (германий стимулирует образование красных кровяных шариков).

Мировое производство германия в 1955 г. оценивается цифрой порядка 20 т* (из них 18 т в США, остальное главным образом в Англии); производство германия налажено и в СССР.

Кларк германия 0,0007%, концентрируется германий в гидротермальных полиметаллических и медных рудах (чаще в рудах, богатых серебром, оловом, мышьяком), в некоторых типах осадочных железомарганцовых руд и углей.

Основным источником германия в настоящее время служат отходы переработки цинковых концентратов месторождения Тристейт в США (сфалерит содержит здесь 0,01—0,1% Ge), а также зола и сажа, получающиеся при обжиге углей и кокса некоторых месторождений Англии и СССР.

Необходимо иметь также в виду, что в отличие от большинства рассеянных металлов германий не только присутствует в виде примеси в

* Цена германия за рубежом составляет 2/3 цены золота.

других минералах, но образует самостоятельные, богатые германием минералы: германит, аргиродит и канфилдит.

Германит в промышленных количествах встречается в рудах месторождения Тсумеб в юго-западной Африке в ассоциации с пиритом, теннантитом, энаргитом, галенитом и сфалеритом. Состав германита $\text{Cu}_3(\text{Ge}, \text{Ga}, \text{Fe}, \text{Zn})\text{S}_4$, содержит 6—10% Ge и до 2% Ga.

Здесь начаты работы по разработке германиевых руд и извлечению из них германия. Месторождение германита известно также в Индии, а минералы германия установлены в рудах некоторых месторождений СССР.

Аргиродит Ag_8GeS_6 с содержанием до 7% Ge и канфилдит $\text{Ag}_8(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_6$, содержащий до 2% Ge, установлены в богатых серебром и оловом месторождениях Боливии и Фрейберга и также могут служить источником германия*.

В виде примеси, в форме рениерита, Ge установлен в медных рудах Катанги и северной Родезии (из которых извлекается), в светлых сфалеритах некоторых месторождений (до 0,01 — 0,1%), вюртците (до 0,3%), энаргите (до 0,1% и больше)**, пираргирите (до 1%), станнине, халь-

* Известны также другие, пока слабо изученные, германиевые минералы: рениерит $(\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Ge}, \text{As})\text{S}$, содержащий до 7% Ge, ультрабазит (диафорит) состава $\text{Ag}_3\text{Pb}_2\text{Sb}_3\text{S}_8$ с примесью до 2% Ge, орнж-борнит и др.

** С энаргитом иногда ассоциируют германиевые минералы—германит Cu_3GeS_4 и др., близкие по составу к энаргиту $(\text{Cu}_3\text{AsS}_4)$ и рассеянные в полях последнего в виде мельчайших микроскопических выделений.

копирите, галените, касситерите, блеклых рудах, а также в рутиле, цирконе, хромите, ильмените, топазе (до 0,1%), каламине, кварце (0,001—0,01%), циннвальдите (0,005%).

В углях некоторых месторождений Англии и других стран содержится до 0,003% Ge и почти столько же Ga. После обжига зола содержит 0,01—0,015 Ge, а добавкой определенных веществ можно удержать большую часть германия в золе. Сажа дымоходов содержит до 0,5—2% Ge, который извлекается в промышленных количествах. При коксовании углей Ge и Ga остаются в коксе.

И Н Д И Й (In)

Индий открыт в 1863 г. Рейхером и Рихтером при спектральном анализе цинковой обманки месторождения Фрейберг.

Основное количество расходуется в производстве германиевых выпрямителей переменного тока (10% от расхода германия), термоэлементах, гальванометрах, для покрытия зеркал прожекторов, в сетках объективов телескопов. Индий применяется также как добавка к сплавам меди в подводных частях кораблей, для покрытия подшипников и пропеллеров быстроходных самолетов, в припоях (77,5% Au + 22,5% In), сцепляющих металл со стеклом и в легкоплавких сплавах (эвтектический сплав 24% In + 76% Ga плавится при t 16°C!).

Современное производство индия около 30 т в год (главным образом в Канаде на руднике Сулливан — 20 т и в США — 5 т) базируется на из-

влечении из промежуточных продуктов и отходов переработки цинковых концентратов.

Кларк индия $0,00001\%$, самостоятельных минералов неизвестно. Индий входит в качестве примеси в состав темных железистых разностей сфалерита-марматита, а также деревянистого касситерита и сульфостаннатов (килиндрита и др.), причем содержание индия в этих минералах колеблется в широких пределах — от $0,01$ до $0,1\%$, иногда достигая 1% . Небольшая примесь индия присутствует также в франклините, смитсоните, каламине, алуните, родоните, флогопите, манганотанталите, сидерите, пирротине, вольфрамите, гюбнерите, самарските. В пегматитовых дайках западной части штата Юта содержится до $2,8\%$ индия (вероятно в кордиерите). Некоторые амфиболы содержат $0,1—1\%$ In.

Выделяются специфически богатые индием провинции (Британская Колумбия, Боливия, Советское Приморье и Дальний Восток, Средняя Азия, Закавказье и др.).

Р Е Н И Й (Re)

Рений предсказан в 1869 г. Д. И. Менделеевым и описан им под названием дви-марганец; в 1887 г. русский химик С. Керн опубликовал сообщение об открытии в платиновых остатках нового элемента дэвия, по свойствам близкого к дви-марганцу.

Официально рений открыт в 1925 г. супругами Ноддак и И. Таке в молибдените и одновременно, независимо от них, выделен И. Друзе из пиролюзита.

Рений — металл с удельным весом около 21, температурой плавления $3137 - 3440^{\circ}\text{C}$, кислотоупорен относительно соляной и плавиковой кислот и по ряду свойств близок к Mo, W, Os.

Известно 11 изотопов рения и среди них радиоактивный изотоп Re^{187} с периодом полураспада $4 \cdot 10^{12}$ лет, переходящий в Os^{187} . При бомбардировке рения медленными нейтронами Be или дейтерием (атомами тяжелого водорода), или быстрыми нейтронами Li, рений проявляет активность с периодом полураспада 76 или 90 (для изотопа 186) часов.

Рений весьма ценный металл, область применения которого быстро расширяется. Применяется в термоэлементах (в сплавах с Pt), в виде рениевых покрытий вольфрамовых нитей электроламп (что повышает срок службы ламп в 5 раз), в термopарах для измерения температур до 2000°C , как заменитель платины (в качестве катализатора), в сплавах наконечников автоматических ручек (2% Re, 50—90% W и Cr, до 30% Fe и Ni или Co). Ввиду повышенной электронной эмиссии рению обеспечено очень широкое применение в радиотехнике, телевидении, вакуумной технике*.

Современное производство рения составляет сотни кг в год и сосредоточено главным образом в США и Германии. Мансфельдский завод (Германия) вырабатывал еще до войны 1939—45 гг. ежегодно 200 кг рения из медистых сланцев, содержащих всего 0,018% Mo (в молибденовом концентрате 100 г/т Re).

* Рений ценится за рубежом почти в два раза дороже золота.

В 1956 г. в США планируется получение 5 т рения из молибденитовых концентратов месторождения Кляймакс; заметное количество рения получают в СССР.

Кларк рения $1 \cdot 10^{-7} \%$, концентрируется вместе с Mo (радиусы ионов Mo и Re совпадают — $0,68 \text{ \AA}$), в меньшей мере Sn, W, Ni в гидротермальных месторождениях сульфидных руд. Отмечается высокое содержание рения в гадолините ($\text{Y}_2\text{FeBe}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}$) из Финляндии, а также в некоторых тантало-ниобатах.

Самостоятельные минералы рения не известны. Наиболее реальным промышленным источником, из которого извлекается рений, являются молибденитовые концентраты с содержанием рения (вероятно в виде ReS_2 или Re_2S_7) от 2—20 г/т до 200—300 г/т ($0,02$ — $0,03 \%$) и в отдельных случаях выше (до $0,1$ — $0,25 \%$ * Re).

Дополнительным источником рения могут служить медные концентраты медно-молибденовых месторождений (содержат до 5—10 г/т Re); при плавке медных концентратов рений накапливается в конверторной пыли.

Интересно отметить, что в то время как сульфидные руды ряда месторождений содержат до 0,5—5 г/т Re, в окисленных разностях тех же руд

* Наиболее высокие содержания Re установлены в молибдените небольшого пирротин-пентландит-халькопиритового месторождения Лайнежур в Швеции ($0,25 \%$ Re). Re содержится также в редкоземельных минералах, тантало-колумбите, сульфидах меди, платиновых и марганцевых рудах.

Re нет или присутствуют его следы. Это связано с легкой растворимостью рения (в рудничных водах содержится в количестве 0,006 мг/л).

ТАЛЛИЙ (Tl)

Таллий открыт в 1861 г., получил промышленное применение в последнее десятилетие. Применяется в подшипниковых сплавах ($72\% \text{ Pb} + 15\% \text{ Sb}$ или $\text{As} + 5\% \text{ Sn} + 8\% \text{ Tl}$), в сплавах с Pb, Ag, Cu, в виде добавки к вольфраму в нитях электроламп, как полупроводниковый материал, и в производстве фотоэлементов и оптических стекол с высоким показателем преломления. Сплав Hg с Tl ($\text{Tl } 8,5\%$) замерзает при $t = -60^\circ \text{C}$ и может применяться в термометрах в условиях арктики и стратосферы.

Сульфат таллия сильно ядовит, применяется в медицине и в качестве инсектисида.

Кристаллы состава $\text{Tl}-\text{Br}-\text{I}$ способны улавливать инфракрасные радиации очень большой длины волны и используются в военной сигнализации, в экранах фотоэлементов (таллофидов).

Производство таллия составляет около 10 т в год, главным образом в Германии и США, где получается попутно с цветными металлами и частью из камерного ила и пыли сернокислотного производства.

Основным источником извлечения таллия являются отходы цинкового производства (медно-кадмиевый кеф) и пыли, получающиеся при обжиге цинковых, свинцовых и медных концентратов.

Кларк таллия $3 \cdot 10^{-4}\%$, известны самостоятельные минералы, богатые таллием: лорандит TlAsS_2 с содержанием 60% Tl, вртаит $\text{Tl}(\text{As}, \text{Sb})_3\text{S}_5$ с содержанием 32% Tl и ряд других довольно редких, ассоциирующих обычно с реальгар-аурипигментовыми и реже антимонит-киноварными рудами низкотемпературных гидротермальных месторождений. Примесь Tl в количестве до $0,1\%$ и иногда выше (до 1%) встречается в пирите, марказите, халькопирите, низкотемпературном сфалерите, галените, алуните, а также в слюдах и кристаллических пиролюзит-псиломелановых рудах гидротермального генезиса (Закавказье). На северном Кавказе известны самостоятельные промышленные месторождения таллия.

А. Е. Ферсман отмечает накопление таллия в остаточных соляных растворах, обогащенных калием и рубидием.

По В. М. Гольдшмидту таллий содержится иногда в щелочных полевых шпатах.

ТЕЛЛУР (Te)

Открыт в 1782 г., начал применяться довольно широко в последние два десятилетия. Применяется как добавка к свинцу в кабелях (дает 20% экономии свинца) к баббитам ($0,1-1\%$ Te), в термопарах (с Cu и Pt), лампах дневного света и, в последние годы, в качестве полупроводникового материала (PbTe и др. теллуриды) с очень высокими показателями.

Соединения Te применяются в резиновой промышленности и в крекинг-процессе.

В 1943 г. в США было получено (из шлама плавки медных руд) почти 100 т теллура, затем производство резко сократилось. В настоящее время только физики в США предъявляют спрос на 80 т теллура ежегодно.

Кларк Те $1 \cdot 10^{-6}\%$, известен целый ряд богатых теллуrom минералов: алтаит PbTe (Те 38 %), тетрадимит $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$ (Те 36 %), теллуrowисмутит Bi_2Te_3 (Те 48 %) и др., ассоциирующие с гидротермальными рудами цветных металлов, висмута, серебра и золота.

Довольно обычна примесь Те (0,01—0,1% изредка выше) в пирите, халькопирите, энаргите, сфалерите, галените многих средне- и низкотемпературных гидротермальных месторождений колчеданных, полиметаллических и медно-молибденовых руд, а также в халькопирите ликвационных медно-никелевых руд.

Извлечение теллура производится попутно с медью и свинцом из руд цветных металлов (из анодного шлама и пыли обжиговых печей) и попутно с серебром, золотом и висмутом из руд месторождений золота. Теллур извлекают также из отходов (илов) сернокислотного производства.

СЕЛЕН (Se)

Селен открыт в 1817 г. шведским химиком Я. Берцелиусом в отходах производства серной кислоты.

Применяется довольно широко в производстве селеновых выпрямителей, фотоэлементов, сиг-

нализационных и автоматических установок и контролеров, а также в телевидении и фототелеграфии*.

Селен применяется также в стекольной промышленности (для нейтрализации зеленого оттенка стекла и получения красного стекла), в виде добавок к магниевомарганцевым сплавам, в производстве каучука (добавка селена повышает сопротивление истиранию на 50 %). Некоторые количества селена применяются при крекинг-процессе в качестве катализатора, в медицине в связи с рентгено- и Ra-лечением и в виде инсектисида против плодовой чумы.

Мировое производство селена составляет 600—700 т в год, главным образом в Канаде, США, Швеции и базируется на извлечении из анодного шлама—побочного продукта рафинирования меди.

Дополнительным источником селена являются отходы сернокислотного производства, накапливающиеся в пыльных камерах.

Кларк селена $6 \cdot 10^{-5} \%$. Элемент концентрируется в эндогенных сульфидах**, главным образом в пирите и халькопирите, галените, иногда молибдените, в количестве до 0,02—0,06 % и в само-

* В зависимости от освещенности селен резко изменяет свою электропроводность.

** В молибденитовых концентратах некоторых месторождений содержится 0,03—0,04 % Se, что связано, возможно, с присутствием селенистой разновидности молибденита-селеномолибденита (?); последняя достоверно установлена в рудах знаменитого месторождения урана Шинколобве в Катанге (Бельгийское Конго).

родной сере вулканических месторождений (Se до 5 %).

Известны также самостоятельные, богатые селеном минералы—селениды серебра, свинца, меди, селеносульфиды никеля, кобальта и др., но они не образуют крупных концентраций и как сырье на селен играют второстепенную роль. Крупное самостоятельное месторождение селена открыто в последнее время в штате Вайоминг (США). Характерна, нередкая ассоциация Se с U (Катанга, Юта и Колорадо и др.).

Селеном богаты некоторые ярозиты и почвы ряда районов; известны растения, накапливающие в себе до 0,2 % Se (Astragalus, Xylorrhiza, Oonopsis, Stanlaya и др.).

ОБОБЩЕНИЕ ПО ПОИСКОВЫМ ПРИЗНАКАМ И МЕТОДАМ ПОИСКОВ РАССЕЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

По 1-ой группе рассеянных элементов.

Тантал и ниобий. Связаны с гранитоидами, а также щелочными интрузиями. Промышленное значение имеют гранитные пегматиты (танталит и колумбит) и грейзены и связанные с ними россыпи, а также магматические месторождения лопарита и метасоматические „карбонатитовые“ (пироклор-перовскитовые руды среди известняков и доломитов), связанные со щелочными интрузиями.

Характерна ассоциация с Be, Li, Sn, W, Zr, TR, Ti, Th, U.

Бериллий. Связан с гранитной и реже ще-

лочной магмами. Промышленные концентрации относятся к пегматитовому и пневматолитовому типам (берилл), иногда имеют место в скарнах (гельвин, фенакит, хризоберилл) или образуют прожилково-вкрапленные зоны в гранитах.

Характерна ассоциация с Li, Ta, Nb, Sn, W, F (флюоритом), В (турмалином).

Цирконий и гафний. Связаны с гранитной и щелочной магмами. Концентрируются в пегматитах, главным образом в форме циркона и в щелочных породах в виде эвдиалита и продукта его окисления—бадделента. Гафний самостоятельных минералов не образует и входит в состав минералов циркония. Промышленное значение имеют россыпи.

Литий. Связан с гранитной магмой, концентрируется в сподумен-лепидолитовых пегматитах и грейзенах в ассоциации с Be, Ta, Nb, Sn, W, Cs, Rb. Литием обогащены также рассолы некоторых озер, воды ряда минеральных источников и гейзеров.

Цезий и рубидий. Связаны с гранитной магмой, образуют промышленные концентрации в пегматитах, в особенности в разностях их, богатых Na и Li и содержащих нередко Be, Ta, Nb, Sn.

Наиболее богат цезием и рубидием поллуцит (очень похож на кварц); повышенные содержания имеют место в берилле, лепидолите, амазоните пегматитов.

Цезий и рубидий содержатся также в карналлите и сильвине и водах некоторых минеральных источников.

Редкие земли. Связаны с гранитоидами и

щелочными породами, концентрируясь среди отдельных дифференциатов этих пород, в пегматитах, грейзенах, скарнах, а также в россыпях (монацит, ксенотим, лопарит, ортит и др.).

Характерна ассоциация TR с Ta, Nb, Ti, Th, Zr, U, Be.

Бор. Связан с гранитоидами, накапливается в пегматитах, пневматолитах и скарнах, а также в некоторых соляных озерах.

Важным поисковым признаком рассеянных элементов первой группы является тесная пространственная и генетическая связь с кислыми и щелочными интрузивными породами.

Промышленные концентрации относятся к собственно магматическому типу (в стратифицированных интрузивах, а также в виде шлиров и вкрапленности акцессорных минералов), пегматитовому, пневматолитовому и скарновому типам. Отдельные элементы этой группы (B, Li, Cs, Rb) концентрируются также в пределах соляных залежей и в соляных озерах.

Характерна тесная ассоциация элементов группы в особенности Ta, Nb, Be, Li, Zr, TR, реже Cs, Rb, B и их частая связь с рудами Sn, W, U, Th, Ti.

Подавляющая часть элементов этой группы связана с тяжелыми и стойкими в зоне выветривания минералами (тантало-колумбит, пирохлор, лопарит, циркон, монацит, ксенотим, ортит), которые накапливаются в россыпях, дающих почти всю продукцию Ta, Nb, Zr, Hf, TR. Шлиховой метод поисков этих элементов применяется с успе-

хом. Однако Be, Li, Cs, Rb, В добываются из коренных месторождений, иногда из минералов, открываемых с большим трудом (поллуцит, похожий на кварц, гелвин, сходный с гранатом и т. д.) и при поисках руд этих металлов большую помощь оказывают спектральные и химические анализы горных пород и руд, тщательное микроскопическое их изучение, металлометрические и гидрохимические методы поисков.

По 2-ой группе рассеянных элементов:

Кадмий. Содержится в цинковых обманках, обычно светлоокрашенных (медово-желтых), присутствует в виде гринокита и в окисленных цинковых рудах.

Галлий. Концентрируется в светло-бурых сфалеритах (содержащих также Cd и Ge), минералах, богатых алюминием (нефелине, сподумене, мусковите и др.), некоторых углях и железных рудах осадочного генезиса.

Германий. Содержится в цинковых обманках, энаргите, халькопирите, германиевых минералах, минералах серебра, олова, а также в некоторых углях.

Индий. Концентрируется в темных железистых разностях цинковых обманок (обычно бедных Cd и Ga), в касситерите и сульфостаннатах.

Рений. Концентрируется главным образом в молибдените.

Таллий. Повышенные концентрации связаны с пиритом, халькопиритом, марказитом, сфалеритом, галенитом, пиролюзитом гидротермального

генезиса. Минералы, специфически богатые таллием, ассоциируют с низкотемпературными Sb—Hg—As—рудами.

Теллур. Концентрируется в сульфидах медно-никелевых, колчеданных, полиметаллических и медно-молибденовых месторождений; образует также самостоятельные минералы в ассоциации с Au, Ag, Bi, Pb.

Селен. Связан с пирротинном, пиритом и халькопиритом, реже галенитом, молибденитом, а также с самородной серой вулканического происхождения.

Важным поисковым признаком рассеянных элементов второй группы является тесная связь с сульфидными рудами, главным образом, гидротермального генезиса.

Устанавливается ассоциация отдельных рассеянных элементов с определенными типами руд и селективная концентрация их в различных минералах и генерациях минералов, что имеет безусловно важное значение для направления поисков рассеянных элементов и последующего их извлечения из руд, концентратов и продуктов их переработки.

Поиски рассеянных элементов этой группы производятся при помощи массовых спектральных, фотоколориметрических и химических анализов руд, мономинеральных проб, концентратов, а также тщательного микроскопического изучения руд в аншлифах (при больших увеличениях, с применением иммерсии) с целью установления самостоятельных минералов Cd, Ge, Tl, Te и Se, представленных обычно мелкими выделениями. вспомога-

тельное значение имеют гидрохимические, ботанические и другие методы поисков рассеянных элементов.

Следует отметить, и это касается в равной мере рассеянных элементов обеих групп, что подобно выделению, например, оловорудных, меднорудных и золоторудных провинций, для рассеянных элементов также выделяются провинции—территории, специфически богатые танталом, ниобием, цирконием, литием или германием, индием, рением, теллуром и другими рассеянными элементами.

ЛИТЕРАТУРА

- Беус А. А. Геохимия бериллия. Геохимия № 5, 1956.
- Беус А. А. Бериллий. Оценка месторождений при поисках и разведках, 1956.
- Боровик С. А. Распространение германия в сульфидных рудах СССР. Изв. АН СССР, серия геол., № 3, 1938.
- Боровик С. А. и др. Галлий в минералах и рудах СССР. Изв. АН СССР, серия геол., № 3, 1941.
- Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах, 1950.
- Власов К. А. Генезис редкометальных гранитных пегматитов. Изв. АН СССР, серия геол., № 5, 1955.
- Германий. Сборник переводов, 1955.
- Друце И. Рений. Дви-марганец, элемент с атомным номером 75, Перевод с английского, 1951.
- Зеликман А. Н., Самсонов Г. В., Крейн О. Е. Металлургия редких металлов, 1954.
- Иост Д., Гэссель Г. и Гарнер К. Редкоземельные элементы и их соединения. Перевод с англ., 1949.
- Иоффе А. Ф. Полупроводники в современной физике. 1954.
- Кронман Е. С. Рений. Цветметиздат, 1932.

- Крыгина Н. Е. Сподумен месторождения Алтын-Тау. Зап. ВМО, ч. 77, № 4, 1948.
- Кузнецов В. И. К вопросу о месте сподумена в процессе формирования гранитных пегматитов. Минер. сборник Львовского геол. общ., № 7, 1953.
- Курман И. М., Мельницкий В. В., Борные провинции и опыт классификации месторождений борного сырья. Тр. Гос. НИИ Горно-хим. сырья, № 2, 1955.
- Менделеев Д. И. Заметка по поводу открытия галлия. Избранные сочинения, т. II, 1934.
- Неметаллические ископаемые СССР, т. II, Берилл, 1943, АН СССР.
- Никитин В. Д. К теории генезиса пегматитов. Зап. Лен. горного ин-та, т. XXX, вып. 2, 1955.
- Ноддак В. и Ноддак И. Рений и его применение в современной технике. В книге „Рассеянные металлы“. Сборник переводов, под ред. В. И. Ивановой, Москва, 1953.
- Прокопенко Н. М. Сырьевая база индия в СССР. Ломонос. институт, 1937.
- Прокопенко Н. М. Поисковые признаки на индий. ДАН СССР, новая серия, т. XXX, № 1.
- Редкие металлы. Сборник переводных статей из иностранной периодической литературы. Рассеянные металлы, 1953 г.; Бериллий, 1953—1955 гг.; Литий, 1954 г.; Ниобий и тантал, 1954—1955 гг.; Гафний, 1955 г.; Цирконий 1954—1955 гг.
- Стрелкин М. Ф. К минералогии Чердожского и Верхне-Баймурзинского месторождений. Тр. ИГН АН СССР, вып. 51, 1941.
- Ферсман А. Е. Геохимия, т. IV, 1939.
- Филянд М. А., Семенова Е. И. Свойства редких элементов (справочник), 1953.
- Шамрай Ф. И. Литий и его сплавы, 1952.
- Щербина В. В. Основные черты геохимии теллура. Изв. АН, серия геол., 1937, № 5.
- Щербина В. В. Геохимия, 1939, АН СССР.
- Besson Y. La préparation du glucinium et de ses composés. Bull. de la Société chimique de France, № 1—2, 1949.

- Einecke E. Das gallium, Leipzig, 1937.
- Glass I. L., Jans R. H., Stevens R. E. Helvite and danalite from New Mexico and the helvite group. Amer. min. 1944 v. 29, № 5-6.
- Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, System—Nummer 37, Indium. 8 Aufl. B, 1936.
- Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie 8 Aufl. System—Nummer 10—Selen, TL A Lfg. 2 Weinheim, 1950, TL B, Clausthal—Zellerfeld, 1949.
- Goldschmidt V. M. Geochemistry, 1954.
- Jahns R. «Ribbon rock» an unusual beryllium bearing tac-tite, Eon. Geol. 1944, V. 39, № 3.
- Johnston W. D. Beryl Tantalite Pegmatites of Northees-tern Brazil. GSA Bull. (1945) V. 56.
- Kroll W. I. Production and Uses of Rare Metals. Min. and Met., № 473, 1946.
- Le germanium et ses applications. Techn. modern., V. 46, № 3, 1954.
- Mather W. B.—Lithium. Northeast Brasil is potential Source Min. Eng V. 6, № 9, 1954.
- De Ment and H. C. Dake. Rarer Metals, 1946.
- Rankama K. and Sahama Th. G. — Geochemistry, 1949, Rare metals handbook, 1956.
- Sanderson L. Germanium. Canad. Min. Journ. May, 1953. № 5, V. 74.
- Schaub B. M. and Schenck B. I. Pollucite from Lit-hia, Massachusetts. The Amer. mineral., v. 39, № 7, 8, 1954.
- Searles Lake a Major Lithium Source. Eng. and Min. Journ. 1945, V. 149, № 6).
- Shaw O. M. The geochemistry of indium. Geochemica et Cosmochimica Acta v. 2, № 3, 1952.

ПРИЛОЖЕНИЕ

МИНЕРАЛЫ — ИСТОЧНИКИ СЫРЬЯ НЕКОТОРЫХ РАССЕЯННЫХ МЕТАЛЛОВ

Тантал и ниобий

Тантало-колумбит $(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_6$ в пластинчатых и таблитчатых, реже короткостолбчатых кристаллах ромбической сингонии. Цвет черный, буровато-черный, иногда с красноватым оттенком, черта красновато-бурая или красная, блеск полуметаллический, спайность по (100) довольно ясная. Твердость 6, хрупкий, удельный вес 5,3—7,8, кислоты почти не действуют. В аншлифах серый, анизотропный (пластинчатые и решетчатые двойники), красно-и желто-коричневые внутренние рефлексy, R 14—18%.

Встречается в гранитных пегматитах, грейзенах, высокотемпературных гидротермально-пневматолитовых жилах в ассоциации с бериллом, сподуменом, лепидолитом, касситеритом, вольфрамитом, топазом, розовым турмалином, альбитом, монацитом, реже цирконом, уранинитом, поллуцитом, минералами редких земель.

Лопарит (Na, Ce, Ca) (Nb, Ti)O₃ в виде одиночных кристаллов и двойников прорастания по флюоритовому закону, кубической сингонии. Цвет черный, черта красновато-бурая, спайности нет. Твердость 5,5—6, удельный вес 4,75—4,89, кислоты (кроме плавиковой) не действуют. В аншлифах серовато-белый, изотропный, R 25 %.

Связан со щелочными породами, образуя вкрапленность и пластообразные тела среди меланократовых нефелиновых сиенитов (малиньитов) и эгирин-нефелиновых пород (уртитов), а также скопления и вкрапленность в пегматитах щелочных пород.

Характерна ассоциация с эгирином, нефелином, сфеном, пирохлором, ильмено-рутилом, цирконом, эвдиалитом.

Пирохлор (Na, Ca...) (Nb, Ti)₂O₆(F, OH) в виде кристаллов-октаэдров и в сплошных зернистых массах. Цвет красновато-бурый до желтого, черта светло-бурая, блеск сильный алмазный или жирный. Твердость 5—5,5, удельный вес от 4 до 4,9. Разбавленный серноокислый раствор при добавлении металлического олова окрашивается в синий цвет (реакция на Nb). Некоторые разности богаты ураном, радиоактивны. Связан с пегматитами щелочной магмы и скарнами в контактах нефелиновых сиенитов с карбонатными породами. Характерна ассоциация с перовскитом, апатитом, цирконом (часто в сростках с пирохлором), ильменитом, магнетитом, эгирином, нефелином, альбитом. В аншлифах серый, изотропный, буро-красные внутренние рефлексy, R 10—12 %.

Тантало-колумбит, лопарит и пирохлор-мине-

ралы химически устойчивые и дают промышленные скопления в россыпях.

Б е р и л л и й

Берилл $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ в хорошо образованных столбчатых и призматических кристаллах гексагональной сингонии. Цвет чаще всего желтовато-зеленый, голубой, зеленовато-белый, реже ярко-зеленый, желтый и розовый. Блеск стеклянный, спайность неясная, твердость 7,5—8, хрупок, уд. вес 2,7. Кислоты не действуют. Минерал оптически одноосный, отрицательный, $\text{Nm} - \text{Nr} = 0,004 - 0,008$. Характерен для гранитных пегматитов, встречается также в грейзенах и пневматолитовых месторождениях олова, вольфрама и молибдена. С бериллом ассоциируют альбит, слюды, топаз, турмалин, касситерит, вольфрамит, тантало-ниобаты, сподумен, флюорит, молибденит.

Гельвин $\text{Mn}_8[\text{BeSiO}_4]_6\text{S}_2$ в виде тетраэдров, октаэдров и шарообразных масс (сингония кубическая) медово-желтого, красно-бурого, реже зеленого и мясо-красного цвета. Спайность ясная, твердость 6—6,5, хрупкий, излом неровный, раковистый. Блеск стеклянный, смолистый. Уд. вес 3,16—3,36.

Минерал полупрозрачный, изотропный, $N = 1,730 - 1,758$, очень похож на гранат. В отличие от гранатов растворяется в крепкой HCl с выделением H_2S , а при кипячении порошка в H_2SO_4 с добавкой As_2O_3 покрывается ярким канареечно-желтым налетом As_2S_3 .

Характерен для скарновых зон, в особенности

W и Sn содержащих, часто с обильным флюоритом, магнетитом или полиметаллическим оруденением. Гельвин в тесной ассоциации с флюоритом слагает иногда тонкие слои мощностью до 0,2 мм, которые чередуются со слоями, богатыми магнетитом, образуя так называемые „ленточные“ породы.

Реже гельвин встречается в пегматитах, грейзенах и гидротермальных жилах от высокотемпературных до низкотемпературных халцедон-пирит-гельвиновых.

Фенакит BeSiO_4 в ромбоэдрических, реже укороченных призматических кристаллах тригональной сингонии. Минерал бесцветный (похож на кварц), реже желтый, розовый или коричневый с неясной спайностью и раковистым изломом. Твердость 7,5—9, уд. вес 2,97—3,0. Одноосный, положительный, $\text{Ng}-\text{Nm}=0,016$.

Встречается в пегматитах гранитной и щелочной магм вместе с бериллом, топазом, амazoнитом, адуляром, хризобериллом, слюдами, а также в скарнах в ассоциации с хризобериллом и флюоритом.

Хризоберилл BeAl_2O_4 в виде таблитчатых сростков гексагонального облика (сингония ромбическая) или призматических кристаллов желтовато-зеленого и темно-зеленого (александрит) цвета. Спайность несовершенная, твердость 8,5, уд. вес 3,5—3,84. Минерал оптически положительный, двuosный, $\text{Ng}-\text{Nr}=0,009$.

Связан с гранитными пегматитами, где ассоциирует с бериллом, турмалином, апатитом, фе-

накитом; встречается в скарновых зонах в ассоциации с фенакитом и флюоритом.

Цирконий и гафний

Циркон $ZrSiO_4$ в хорошо образованных, обычно мелких короткостолбчатых кристаллах тетрагональной сингонии, светло-желтого до темно-коричневого цвета с алмазным блеском. Спайности нет, твердость 7,5, уд. вес 4,7.

H_2SO_4 разлагает порошок минерала. Часто радиоактивен. Сплав порошка с содой растворяется в разбавленной HCl ; раствор окрашивает куркумовую бумажку в оранжевый цвет (реакция на Zr).

Обычен в интрузивных породах кислого и щелочного состава и в пегматитах, связанных с ними. Ассоциирует с пироксеном, ильменитом, рутилом, сфеном, апатитом, нефелином, флюоритом, слюдами.

Бадделейт ZrO_2 в виде мелких таблитчатых кристалликов моноклинной сингонии желтого, бурого до черного цвета. Твердость 6,5, уд. вес 5,7—6. Минерал магматического генезиса.

Широко развиты скрытокристаллические, натечные и концентрически-скорлуповатые разности (циркон-фавас), связанные с разрушением циркона, эвдиалита и других минералов Zr в зоне выветривания нефелиновых сиенитов.

Эвдиалит $(Na,Ca)_6ZrSi_6O_{17}(O,OH,Cl)$ в виде толстотаблитчатых, реже призматических кристаллов тригональной сингонии с хорошо развитым ромбоэдром. Цвет малиновый, розово-красный, грязно-

бурый. Спайность неясная. Твердость 5—5,5, уд. вес 2,84—2,98, легко растворяется в кислотах.

Связан с нефелиновыми сиенитами и их пегматитами, ассоциирует с эгирином, нефелином, сфеном, астрофиллитом, апатитом, альбитом, щелочными амфиболами.

Циркон и бадделейт дают промышленные скопления в россыпях. Гафний не образует собственных минералов и входит в состав минералов циркония.

Л и т и й

Сподумен $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ в призматических удлиненных кристаллах и сплошных массах моноклинной сингонии, светло-зеленого, желтого, реже красновато-фиолетового и изумрудно-зеленого цвета. Оптически положительный, двусный с cNg 24—26°. $Ng - Np = 0,016$. Спайность совершенная, твердость 6,5—7, уд. вес 3,13—3,20; легко выветривается, давая глинистые вторичные продукты.

Связан с пегматитами гранитной магмы, ассоциирует с лепидолитом, петалитом, амблигонитом, микроклином, бериллом, касситеритом, поллуцитом, турмалином, очень часто с пластинчатым альбитом (клевеландитом).

Петалит $(\text{Li}, \text{Na})\text{AlSi}_4\text{O}_{11}$ в виде сплошных масс или крупнозернистых выделений моноклинной сингонии. Цвет серо-белый, иногда зеленовато-белый и красноватый. Спайность совершенная (по 001), легко расщепляется на пластинки. Твердость 6—6,5, хрупкий. Удельный вес 2,39—2,46.

Связан с пегматитами гранитной магмы, в той же ассоциации, что и сподумен.

Амблигонит $\text{LiAl}[\text{F}, \text{OH}][\text{PO}_4]$ обычно в крупнозернистых агрегатах, реже в кристаллах триклинной сингонии. Цвет серовато-белый, зеленоватый. Твердость 6, уд. вес 3,01—3,09. Спайность в нескольких направлениях совершенная, по плоскости наилучшей спайности (001) блеск перламутровый. Перед паяльной трубкой легко плавится, вспучиваясь; пламя окрашивается в красный цвет (от Li).

Связан с пегматитами гранитной магмы, в той же ассоциации, что сподумен и петалит.

Лепидолит $\text{KLi}_2\text{Al}[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{F}, \text{OH}]_2$ в листоватых скоплениях и плотных массах светло-фиолетового до красно-фиолетового цвета. Сингония моноклинная, твердость 2—3, листочки гибкие и упругие, уд. вес 2,8—2,9.

Встречается в пегматитах, грейзенах, пневматолитовых месторождениях вольфрама и олова в ассоциации со сподуменом, альбитом, циннвальдитом, мусковитом, турмалином, колумбитом, касситеритом, вольфрамитом, флюоритом, бериллом, поллуцитом.

Цезий и рубидий

Поллуцит $\text{Cs}[\text{AlSi}_2\text{O}_6] \cdot \text{H}_2\text{O} < 1$ обычно в сплошных зернистых массах, реже в виде кубических кристаллов. Белый, иногда водяно-прозрачный, напоминает кварц и сахаровидный альбит. Твердость 6,5 (падает до 5,25), очень хрупкий, уд. вес 2,90—2,975, $N=1,520$, изотропен (чем отличается под микроскопом от кварца и альбита). В

HCl разлагается с выделением порошкового кремнезема.

Встречается в пегматитах в ассоциации с альбитом, лепидолитом, амблигонитом, петалитом, сподуменом, розовым турмалином, касситеритом, тантало-колумбитом, бериллом.

Редкие земли

Монацит (Ce, La...) PO₄ в виде таблитчатых, реже призматических кристаллов моноклинной сингонии желтого и красновато-бурого цвета. Твердость 5—5,5; уд. вес 5—5,2. Спайность иногда совершенная по (001), в HCl растворяется, хотя и с трудом, выделяя белый осадок. Порошок, смоченный H₂SO₄, при прокаливании окрашивает пламя в зеленый цвет. Оптически положительный, Ng—Nr=0,052. Обычно сильно радиоактивен.

Рассеян в кислых и щелочных интрузивных породах, концентрируется в пегматитах в ассоциации с цирконом, апатитом, ильменитом, магнетитом.

Ксенотим YPO₄ в пирамидально-призматических кристаллах тетрагональной сингонии (сходны с кристаллами касситерита и циркона). Цвет светло-бурый, красновато- и желтовато-бурый до мяско-красного. Блеск стеклянный или жирный, твердость 4,5, уд. вес 4,5. Спайность совершенная по (110). Часто радиоактивен. Ng—Nr=0,095, характерен дихроизм. Встречается в гранитах и пегматитах, в ассоциации с цирконом, рутилом, монацитом, ортитом.

Ортит (Ca, Ce)₂(Al, Fe)₃Si₃O₁₂[O, OH]. Кристаллы толстотаблитчатые темно-бурого до черного

цвета с раковистым изломом и смоляным блеском. Сингония моноклинные. Твердость 6, уд. вес 3,0—4,2. Плеохроирует, оптически отрицательный, $Ng-Np$ до 0,032. Сильно радиоактивен.

Связан с кислыми и щелочными породами, присутствует в виде вкрапленности среди гранитов и сиенитов, а также в их пегматитах в ассоциации с цирконом, рутилом, минералами U и Th. Монацит, ксенотим и ортит-минералы устойчивые и дают промышленные скопления в россыпях.

Б о р

Бура $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ в виде корочек или призматических кристаллов моноклинные сингонии. Цвет белый с сероватым, синеватым, зеленоватым оттенками, блеск стеклянный. Спайность по (010) совершенная, твердость 2—2,5, уд. вес 1,7.

Растворяется в воде. Встречается в соляных озерах в ассоциации с другими боратами.

Пандермит $(Ca_5B_{12}O_{23} \cdot 9H_2O)$ в плотных и скрытокристаллических массах и желваках среди гипса, сходен с фарфоровидным магнезитом. Сингония моноклинные, цвет белый, твердость 3—3,5, уд. вес 2,4. В шлифах $Ng-Np = 0,019$. Встречается в соляных озерах и куполах.

Ашарит $(MgHBO_3)$ в виде мелоподобных маляющих масс и желваков скрытокристаллического, реже тонковолокнистого или тонкоиглочатого строения. Цвет снежно-белый, твердость 3,5, уд. вес 2,68. Часто образуется по гидроборатиту.

Боратит $(Mg_6B_{14}O_{26}Cl_2)$ в сплошных зернистых массах и кристаллах кубического габитуса.

Сингония ромбическая, бесцветный, спайности нет. Твердость 7, уд. вес 2,9—3, в шлифах $\text{Ng} - \text{Nr} = 0,011$. Встречается в соляных залежах морского происхождения.

Колеманит ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) — крупнокристаллический, часто в друзах и груборадиальных агрегатах. Бесцветный и молочно-белый, твердость 4—4,5, уд. вес 2,4. Спайность совершенная по (010), $\text{Ng} - \text{Nr} = 0,028$. Встречается в соляных озерах в ассоциации с пандермитом и другими боратами.

Гидроборацит ($\text{MgCaB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) в виде красивых лучистых агрегатов иногда шаровидной формы. Цвет белый, твердость 2, уд. вес 2. Спайность совершенная, $\text{Ng} - \text{Nr} = 0,049$. Смоченный H_2SO_4 при прокаливании окрашивает пламя в слабо-зеленый цвет. Образуется как химический озерный осадок и в результате замещения глинисто-гипсовых пород кровли соляных куполов.

Кернит ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) в виде бесцветных кристаллов со стекляннм и перламутровым (по спайности вдоль 001 и 100) блеском. Твердость 3, уд. вес 1,95.

Встречается в ассоциации с другими боратами в соленосных толщах.

Датолит $\text{CaBSiO}_4[\text{OH}]$ в виде сплошных зернистых и скрытокристаллических масс, также пластинчатых, пирамидальных и призматических кристаллов. Минерал бесцветный, водяно-прозрачный или бледно-зеленоватый, желтый, красный.

Спайность отсутствует, твердость 5—5,5, уд. вес 2,9—3, $\text{Ng} - \text{Nr} = 0,045$. Встречается в скарнах, также в гидротермальных жилах и пустотах эф-

фузивных пород в ассоциации с кальцитом и цеолитами.

Людвигит $(\text{Mg,Fe})_2\text{Fe}[\text{BO}_3]\text{O}_2$ в виде натеков и скоплений тонковолокнистого и радиальнолучистого сложения. Цвет темно-зеленый до черно-зеленого, твердость 5, уд. вес 4, $N_g - N_p = 0,014$ до 0,017.

Растворяется в HCl , окрашивая куркумовую бумажку, при осторожном высушивании, в красный цвет.

Встречается в скарнах.

К а д м и й

Гринокит (CdS) в виде налетов и землистых корок, изредка короткопризматических кристаллов желтого до оранжево-желтого цвета.

Сингония гексагональная, спайность совершенная по $(10\bar{1}0)$, твердость 3, уд. вес 4,9—5.

Черта оранжево-желтая до кирпично-красной. Развивается как вторичный минерал по сфалериту. В аншлифах похож на сфалерит, $R\ 18\%$.

Отавит (CdCO_3) в виде корочек, состоящих из мелких ромбоэдрических кристалликов тригональной сингонии. Цвет белый до желто-коричневого и красноватого, блеск сильный, алмазный. Уд. вес около 5.

Минерал вторичный, ассоциирует с смитсонитом, церусситом, пироморфитом, малахитом, азуритом.

Германит $\text{Cu}_3(\text{Ge}, \text{Ga}, \text{Fe}, \text{Zn})\text{S}_4$ кубической сингонии. Минерал темный, красновато-серый с металлическим блеском и темно-серой до черной чертой. Спайность отсутствует, хрупкий, твердость 3, уд. вес 4,5.

В аншлифах розовато-серый, с фиолетовым оттенком, изотропный, R около $22^\circ/0$, очень напоминает борнит (в отличие от него не травится KCN). Ассоциирует с пиритом, теннантитом, энаргитом, галенитом, сфалеритом, гипогенными борнитом и халькозином в рудах среднетемпературных гидротермальных месторождений.

Аргиродит (Ag_8GeS_6) кубической сингонии в массивных, плотных, радиально-лучистых агрегатах, реже в кристаллах октаэдрического и додекаэдрического габитуса. Цвет черный с синеватым до пурпурного оттенком, в свежем изломе стальнo-серый с красным до фиолетового оттенком. Черта серовато-черная. Хрупкий, твердость 2,5, уд. вес 6,1—6,3. В аншлифе серовато-белый с фиолетовым оттенком, изотропен или слабо анизотропен и двуотражает, R около $25^\circ/0$, травится KCN. Ассоциирует с сульфосолями серебра, аргентитом, сфалеритом, касситеритом, сидеритом, марказитом в рудах гидротермальных средне-низкотемпературных месторождений.

Ультрабазит (диафорит) — $\text{Ag}_3\text{Pb}_2\text{Sb}_3\text{S}_8$ (с примесью до $2^\circ/0\text{Ge}$) в виде стально-серых призматических кристаллов ромбической сингонии. Спайности нет, хрупкий, твердость 2,5—3, уд. вес 6. Ассоциирует с сфалеритом, галенитом, сидеритом,

пиритом в полиметаллических гидротермальных месторождениях.

Т а л л и й

Лорандит (TiAsS_2) в короткопризматических и таблитчатых кристаллах моноклинной сингонии. Спайность по (100) совершенная, гибкий, легко расщепляется по спайности на пластинки и волокна.

Твердость 2—2,5, уд. вес 5,53.

Цвет кошенильно- до карминово-красного; с поверхности свинцово-серый. Часто покрыт охряно-желтым порошком. Черта вишнево-красная. Блеск металлический, алмазный. В аншлифах серовато-белый с голубым оттенком, слабо двуотражает, сильно анизотропен, дает внутренние рефлексy — от пурпурно- до оранжево-красного. $R_{290\%}$ заметно двуотражает. Травится КОН (желтый осадок), чем отличается от близких по свойствам киновари и реальгара. Ассоциирует с реальгаром, аурипигментом, стибнитом, баритом в гидротермальных низкотемпературных месторождениях.

Врбаит — $\text{Ti}(\text{As}, \text{Sb})_3\text{S}_5$ в пирамидальных или таблитчатых кристаллах ромбической сингонии. Спайность по (010) хорошая, хрупкий, твердость 3,5, уд. вес 5,3. Цвет темносеро-черный с синеватым оттенком. Блеск полуметаллический до металлического, в тонких сколах просвечивает темно-красным. Черта светло-красная с желтым оттенком. В аншлифах белый с голубоватым оттенком и красными внутренними рефлексами. R около 29%, слабо анизотропен. Ассоциация та же, что у лорандита.

Алтаит — (PbTe) в сплошных массах или в виде кубов и кубооктаэдров (сингония кубическая). Спайность совершенная по (001), твердость 3, уд. вес 8,15.

Цвет оловянно-белый с желтым или бронзовым оттенком, блеск металлический. Раствор в крепкой H_2SO_4 окрашивается в характерный для теллура пурпурный цвет. В аншлифах характерен сильный блеск ($R\ 60^\circ/\circ$) и изотропность, микрохимические реакции на Pb и Te.

Ассоциирует с золотом, другими теллуридами, галенитом, сфалеритом, блеклыми рудами в гидротермальных месторождениях.

Тетрадимит — ($\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$) в виде листоватых или призматических кристаллов, часто в форме сростков четверников, или в зернистых массах. Сингония тригональная, спайность совершенная по (0001), пластинки гибкие, но не эластичные. Твердость 1,5—2, пишет на бумаге, уд. вес 7,3. Цвет в аншлифе белый с желтоватым оттенком, высоким $R(53—55^\circ/\circ)$, слабо анизотропен. Ассоциирует с другими теллуридами, пиритом, галенитом, блеклыми рудами, висмутином, халькопиритом, самородным золотом в гидротермальных месторождениях цветных металлов и золота.

Теллуровисмутит — (Bi_2Te_3) в неправильных пластинках или листоватых массах тригональной сингонии. Спайность по (0001) совершенная, гибкий, но не эластичный. Твердость 1,5—2, пишет на бумаге, уд. вес 7,8. Цвет оловянно-белый, характерен сильный блеск (в аншлифах также белый;

R 60% как у алтаита, в отличие от него анизотропен, микрохимия на Bi и Te).

Ассоциация та же, что у тетрадимита, от которого отличается с трудом; достоверно диагностируется только рентгенометрически и с помощью полного химического анализа.

Расценки 1953 года на некоторые рассеянные металлы*
(в долларах за фунт; для сравнения приведена цена золота)

Бериллий — 100

Бор — 318

Кадмий — 2

Церий — 12

Ниобий — 59

Галлий — 1360

Германий — 340

Индий — 32

Литий — 10

Рений — 910

Селен — 3,5

Тантал — 41,2

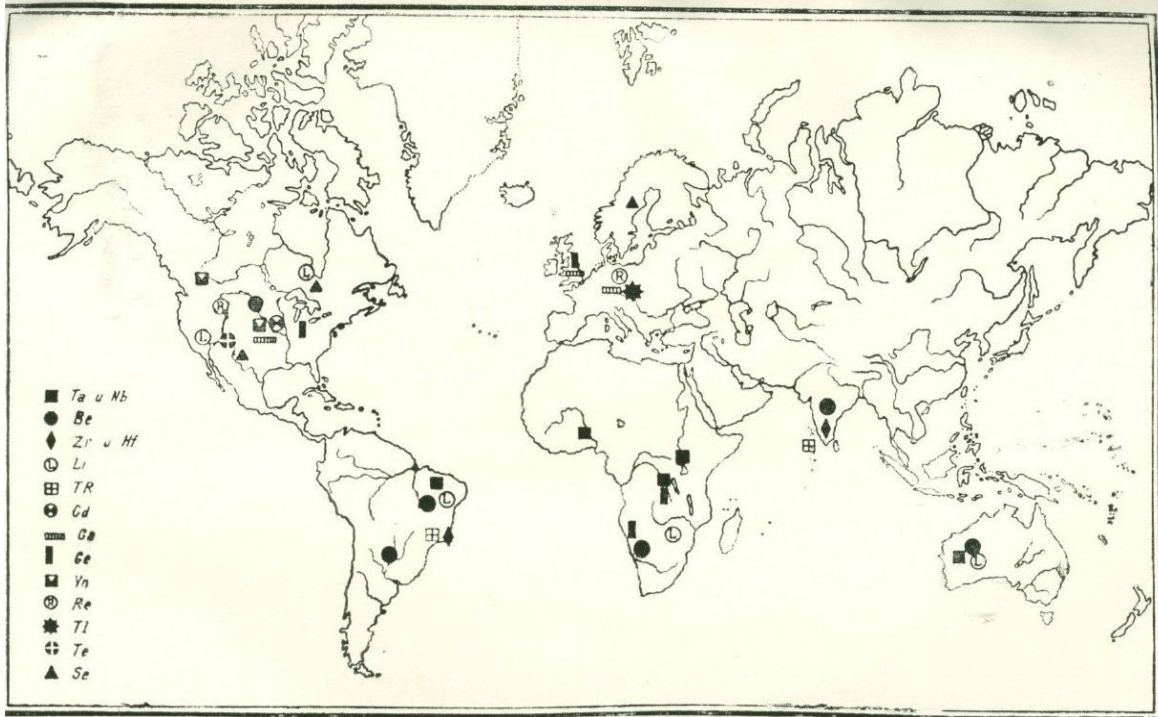
Теллур — 1,5

Таллий — 15

Цирконий — 10—15

Золото — 510

* Из книги Clifford A. Hampel. Rare metals handbook, 1956.



Главнейшие зарубежные месторождения рассеянных и редкоземельных металлов.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Стр.

Тантал и ниобий (колумбий)	6
Бериллий	10
Цирконий и гафний	15
Литий	17
Цезий и рубидий	21
Редкие земли—лантаноиды и скандий	22
Бор	25
Кадмий	26
Галлий	27
Германий	30
Индий	34
Рений	35
Таллий	38
Теллур	39
Селен	40
Обобщение по поисковым признакам и методам поисков рассеянных элементов	42
Литература	47
Приложение. Минералы—источники сырья неко- торых рассеянных металлов	50

ИВАН ГЕОРГИЕВИЧ МАГАКЬЯН

«Расселенные и редкоземельные металлы»

Ответ. редактор С. С. Мкртчян

Художник Г. Мнацаканян

Тех. редактор
Л. А. Азизбекян

Корректор
В. Б. Андреасян

ВФ 01317 РИСО № 386 Изд. № 1368 Заказ 448 Тираж 2000

Сдано в набор 30/XI—1956 г. Подписано к печати 14/II 1957 г.

Бумага 84×108 $1\frac{1}{32}$. 4 $\frac{1}{8}$ печ. л. + 1 вкладыш. Уч.-изд. 2,4 л.

Цена 1 р. 50 к.

Типография Издательства АН Армянской ССР,

Ереван, ул. Абовяна, 124.