

РЕДКИЕ  
И БЛАГОРОДНЫЕ  
ЭЛЕМЕНТЫ  
В РУДНЫХ  
ФОРМАЦИЯХ  
АРМЯНСКОЙ ССР

308

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԳԵՄԻՍ

ԵՐԿՐԱՔԱՆԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

Ի. Գ. ՄԱՂԱՔՅԱՆ, Գ. Հ. ՓԻՋՅԱՆ, Ա. Ս. ՖԱՐԱՄԱԶՅԱՆ,  
Ը. Հ. ԱՄԻՐՅԱՆ, Ա. Ի. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Վ. Հ. ՊԱՐՈՆԻԿՅԱՆ,  
Ռ. Ն. ԶԱՐՅԱՆ, Բ. Մ. ՄԵԼԻՔՍԵԹՅԱՆ, Ա. Գ. ՀԱԿՈՔՅԱՆ

ՀԱԶՎԱԳՅՈՒՏ ԵՎ ԱԶՆԻՎ ՏԱՐՐԵՐԸ  
ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ՀԱՆՔԱՅԻՆ ՖՈՐՄԱՑԻԱՆԵՐՈՒՄ

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԳԵՄԻԱՅԻ ՇՐՏԱՐԱԿԶՈՒԹՅՈՒՆ

Ե Ր Ե Վ Ա Ն

1972

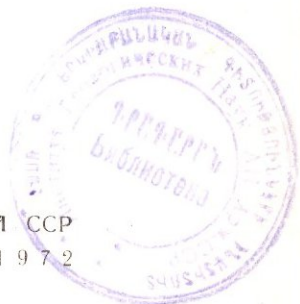
АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР  
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

И. Г. МАГАКБЯН, Г. О. ПИДЖЯН, А. С. ФАРАМАЗЯН,  
Ш. О. АМИРЯН, А. И. КАРАПЕТЯН, В. О. ПАРОНИКЯН,  
Р. Н. ЗАРЬЯН, Б. М. МЕЛИКСЕТАН, А. Г. АКОПЯН

РЕДКИЕ И БЛАГОРОДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ  
В РУДНЫХ ФОРМАЦИЯХ АРМЯНСКОЙ ССР

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР  
ЕРЕВАН

1972



308

В книге изложены геохимия, минералогия, закономерности распределения редких и благородных элементов в главных рудных формациях Армянской ССР: колчеданной, медно-молибденовой, полиметаллической, золоторудной, железорудной, нефелиновых сиенитов и др.

Основное внимание уделено форме нахождения редких и благородных элементов в главных месторождениях различных рудных формаций и детальному изучению геохимии и минералогии отдельных элементов.

Книга рассчитана на широкий круг геологов — научных работников и производственников, а также обогатителей, занимающихся изучением и освоением редких и благородных элементов в рудах.

Главный редактор  
академик АН Арм. ССР И. Г. МАГАКЬЯН

Редакционная коллегия:

Д-р геол.-мин. наук Г. О. ПИДЖЯН,  
канд. геол.-мин. наук А. С. ФАРАМАЗЯН,  
канд. геол.-мин. наук Ш. О. АМИРЯН.

## ВВЕДЕНИЕ

В связи с бурным развитием новейших отраслей науки и промышленности — автоматики, электроники, радиотехники, специальных сталей и сплавов и др. — исключительное значение приобрели редкие элементы, которые широко применяются в народном хозяйстве. Непрерывно возрастающий спрос на них ставит перед геологами и геохимиками задачи по выяснению закономерностей их распределения с целью поисков новых источников редкометалльного сырья. Первостепенное значение имеют изучение и разведка тех месторождений, в рудах которых редкие и благородные элементы образуют значительные концентрации и могут комплексно извлекаться совместно с главными компонентами.

Отдельные отрывочные сведения о наличии редких и благородных элементов в рудах и горных породах, развитых на территории Армянской ССР, имеются в работах 30 — 40-х гг. (Н. М. Прокопенко, Ю. А. Арапов и др.).

Первые систематические исследования по редким элементам в рудных формациях Армянской ССР были начаты с 1954 г. в Институте геологических наук АН Армянской ССР (И. Г. Магакьян, Г. О. Пиджян, Э. А. Хачатурян). В 1955—1956 гг. в Институте химии АН Армянской ССР проводились исследования по аналитической химии некоторых редких элементов (рений и др.). В Управлении геологии при Совете Министров Армянской ССР в 1957 г. была организована тематическая партия под рук. Н. С. Хачатряна по изучению редких элементов. В рудах действующих предприятий с 1958 по 1960 гг. проводились ревизионно-опробовательские работы по редким элементам (рук. М. Л. Лачинян). Исследования по распределению редких элементов в продуктах флотации проводились В. И. Луценко, С. С. Акмаевой и др.

В этих работах основное внимание уделялось поискам источников редкометалльного сырья и выяснению путей комплексного использования руд и концентратов с целью извлечения из них всех ценных примесей.

Минералого-геохимические особенности руд медно-молибденовых (Каджаран, Дастакерт, Анкаван и др.) и колчеданных (Ахтала, Тандзут, Кафан и др.) с 1954 г. изучаются Г. О. Пиджяном и Э. А. Хачатуряном. В результате были установлены ряд минералов редких элементов и повышенные содержания ряда ценных примесей (Re, Se, Te и др.).

С целью проведения более углубленных специальных научно-исследовательских работ в области геохимии редких элементов в Институте геологических наук АН Армянской ССР в 1957 г. был создан сектор редких и рассеянных элементов. Для обеспечения успешного выполнения тематических работ института и, в частности, сектора редких элементов были организованы химико-аналитическая (В. М. Тараян), технологическая (Г. М. Айрапетян), спектральная (Г. М. Мкртчян) и рентгено-структурная (Э. Х. Хуршудян) лаборатории.

В Институте геологических наук АН Армянской ССР в течение ряда лет выполняется тема по изучению закономерностей распределения редких и благородных элементов в рудных формациях Армянской ССР.

В результате исследований отдельных месторождений выяснены характер распределения и условия концентрации редких и благородных элементов в различных стадиях минерализации и генерациях минералов. В этом отношении интересные исследования были проведены А. С. Фарамазяном, Ш. О. Амиряном, А. И. Карапетяном, А. Г. Акопяном, Р. Н. Зарьяном и В. О. Пароникяном.

В связи с освоением щелочных пород Тежсарского комплекса, на базе которого строится горно-химический комбинат по производству глинозема, интересные минералого-геохимические исследования проводились И. Г. Магакьяном, Г. Е. Кочиняном и Б. М. Меликсетяном и др. Минералогия и геохимия щелочных пород Мегринского плутона изучены Б. М. Меликсетяном и др.

В лаборатории аналитической химии редких элементов Института геологических наук под руководством чл.-корр. АН Арм. ССР В. М. Тараян проведены исследовательские работы по разработке методики определения редких элементов. В этом отношении интересными являются работы В. М. Тараян и Л. Г. Мушегян по рению, С. А. Дехтрикян — по германию, Т. Т. Авакян — по селену и теллуру, Л. А. Элиазян — по редким землям.

В результате многолетних исследований Н. С. Хачатуряном и Б. Д. Акопян составлена сводная работа по характеру распределения рассеянных элементов в рудах разведываемых месторождений и многочисленных рудопроявлений Армении.

Настоящая работа представляет результат многолетних систематических исследований по закономерностям распределения редких и благородных элементов в рудных формациях Армении, проведенных большим коллективом научных сотрудников. В работе использованы имеющиеся в литературе данные по характеру распределения редких и благородных элементов в рудах месторождений и в концентратах обогатительных фабрик, полученные исследователями других организаций.

Методами исследования руд на содержание в них редких и благородных элементов были массовые спектральные (полуколичественные и количественные), пламеннофотометрические, рентгеноспектральные и химические анализы проб руд, концентратов и отдельных отобранных минералов, а также детальное минералогическое изучение руд и минералов при больших увеличениях с применением микрохимического, микроспектрального и микрорентгеноструктурного анализов.

Вся работа в целом выполнялась под общим руководством академика АН Армянской ССР И. Г. Магакьяна (руководитель проблемы) и зав. отделом геохимии Института геологических наук АН Армянской ССР Г. О. Пиджяна. Спектральные анализы в основном выполнены в лаборатории института Г. М. Мкртчяном и М. Я. Мартиросяном, а также в лабораториях Управления геологии Арм. ССР, ВСЕГЕИ, ИМГРЭ, ИГЕМ, ВИМС и др. Химические анализы редких элементов, произведены главным образом в лаборатории Института геологических наук аналитиками Т. Т. Авакян (селен, теллур, серебро, индий, галлий), С. А. Дехтрикян (германий, висмут), Л. А. Элиазян (редкие земли, рений, селен, теллур), Л. Г. Мушегян (рений), Н. С. Налбандян (селен, теллур, германий и висмут) под руководством В. М. Тараян. Рентгенометрические анализы минералов редких элементов выполнены в лаборатории института Э. Х. Хуршудян и С. В. Геворкян, а также в лабораториях ИГЕМ, ИМГРЭ, ВИМС и ЦНИГРИ, микроспектральные анализы произведены в лабораториях ВСЕГЕИ и ИГЕМ. Пробирные анализы на золото и серебро выполнены в лабораториях Алавердского медно-химического комбината, Управления геологии Армянской ССР и ЦНИГРИ.

Изучение минералов редких элементов в отраженном свете некоторые авторы проводили также в минераграфических лабораториях ИМГРЭ, ИГЕМ и ВИМСа и пользовались консультацией сотрудников этих лабораторий, в особенности И. С. Волынского, Т. Н. Шадлун, А. Д. Генкина, С. И. Лебедевой и И. А. Пудовкиной.

В описание характера распределения редких элементов в месторождениях Алавердского и Кохбского рудных районов (Алаверди, Шамлуг, Цакери-дош) ряд ценных замечаний и дополнений внесен Э. А. Хачатуряном.

При выполнении научно-исследовательских работ по изучению редких и благородных элементов всемерную помощь и содействие оказал С. С. Мкртчян.

Во время проведения полевых экспедиционных работ авторы получали помощь и содействие от геологов геолого-разведочных экспедиций Управления геологии и цветной металлургии при Совете Министров Армянской ССР.

Работа в рукописи просмотрена докторами геолого-минералогических наук проф. В. В. Щербиной и А. Е. Кочаряном, сделавшими ряд ценных замечаний. Подготовка отдельных глав проведена Г. О. Пиджяном, А. С. Фарамазяном и Ш. О. Амиряном.

Пользуясь случаем, авторы выражают признательность всем перечисленным лицам, способствовавшим выполнению настоящей работы, представляющей определенный этап в изучении закономерностей распределения редких и благородных элементов в рудных формациях Армянской ССР.

## I. ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ МЕТАЛЛОГЕНИИ ТЕРРИТОРИИ АРМЯНСКОЙ ССР

Территория Армянской ССР располагается в пределах горных цепей Малого Кавказа, представляя небольшой отрезок Средиземноморского складчатого и металлогенического пояса альпийского возраста. По сложности геологического строения, интенсивности и многообразию магматических процессов и связанной с ними минерализации территория республики представляет исключительный интерес.

На этой небольшой (всего около 30 тыс. км<sup>2</sup>) территории можно изучать почти непрерывный стратиграфический разрез от докембрия до плиоцена и квартера, мощное осадконакопление и проявления вулканизма, особенно интенсивные в юре, мелу, эоцене, миоцене-плиоцене и квартере. Происходившие здесь, в различные этапы геологического развития, складчатые движения и глубинные разломы сопровождались внедрением интрузивных масс (гранитоиды, щелочные, основные и ультраосновные породы), с которыми тесно связана эндогенная минерализация.

На территории Армении известны всесоюзного значения месторождения медных колчеданных и медно-молибденовых руд, крупные концентрации железа, золота, глинозема (последний в нефелиновых сиенитах), а также сравнительно небольшие месторождения хромита, полиметаллических руд, серного колчедана и барита.

Изучаются также месторождения марганца, сурьмы, ртути, мышьяка, вольфрама (шеелита), титана (рутила), еще не получившие промышленной оценки, а в результате работ последнего десятилетия было доказано наличие в рудах, наряду с главными металлами, ряда рассеянных, редких и редкоземельных металлов, представляющих интерес в отношении возможности их комплексного извлечения. На основании детальных металлогенических исследований на территории республики были выделены три структурно-металлогенических пояса: Алаверди-Кафанский, Памбак-Зангезурский и Севано-Амасийский, отличающихся друг от друга по геологическому строению, характеру магматизма и минерализации.

Алаверди-Кафанский структурно-металлогенический пояс включает два важных рудных района республики — Алавердский и Кафанский с господством колчеданного (медного, частью полиметаллического с баритом, серноколчеданного) оруденения. Здесь достаточно широко развиты также скарновые железорудные месторождения, гидротермальная минерализация меди и полиметаллов, эксгальционно-осадочные месторождения марганца.

Из редких и рассеянных элементов здесь наиболее характерны Se и Te, менее и локально также Cd, In, Ge, Ga (в колчеданных рудах), TR и Co (в железных рудах), Tl (в марганцевых рудах).

В пределах Алаверди-Кафанского пояса широко развиты мощные осадочно-вулканогенные толщи юрского, мелового и третичного возраста, слагающие пологие складки (пологоскладчатая Сомхетско-Кировабадская зона по К. Н. Паффенгольцу) общекавказского простирания; они подстилаются интенсивно дислоцированными и метаморфизованными породами нижнего палеозоя-докембрия.

Этот комплекс пород прорван многочисленными гипабиссальными гранитоидными интрузиями умеренно кислого состава, из которых одна часть мелового (предсеноманского), а другая — верхнеэоценового возраста. К меловым относятся массивы кварцевых диоритов-гранодиоритов: Кохбский, Чочканский, Ахпатский, Шамшадинская группа в Северо-Восточной Армении и Цавский в Юго-Восточной Армении. Эти массивы (площадь выходов наиболее крупных 50—100 км<sup>2</sup>) прорывают осадочно-вулканогенные толщи средней и верхней юры и перекрыты (район с. Кохб) конгломератами сеномана, содержащими обильную их гальку. Абсолютный возраст интрузивов, определенный калий-аргоновым методом, 90—130 млн. лет\*.

С интрузиями пространственно и генетически связаны многочисленные скарновые железорудные месторождения, небольшие или слабо изученные в пределах Армении (Кохб, Шишкерт и др.) и крупные на продолжении этой же структуры в Азербайджане (Дашкесан); с ними также связаны проявления меди, свинца и цинка, молибдена, барита, кобальта. Баритовые и кобальтовые руды на соседней территории Азербайджана дают промышленные концентрации —

---

\* Все определения абсолютного возраста произведены в радиологической лаборатории ИГН АН Армянской ССР, возглавляемой Г. П. Багдасяном.

Човдар (барит) и Дашкесан (кобальт). В целом для минерализации меловой эпохи типичны железо, кобальт, барит; небольшое значение имеют медь, свинец, цинк, золото и еще менее характерен молибден.

С верхнеэоценовыми небольшими трещинными интрузиями и штоками гранодиоритов Ахтинского, Степанаванского и Кироваканского районов связаны скарные месторождения железа (Судагян), меди (Сисимадан) и жильные, частью пластовые гидротермальные месторождения меди (Анкадзор), свинца и цинка (Привольное, Мовсес). Основным металлом является медь, местами — железо, свинец и цинк.

К верхнеэоценовым гранодиоритам Алаверди-Кафанской зоны близки по возрасту интрузивные дациты и андезиты соседнего Болнисского района Грузии и Артвинского округа Турции. С мелкими штоками и дайками этих пород связаны колчеданные месторождения меди, иногда с заметной ролью свинца, цинка и барита, залегающие среди осадочно-вулканоогенных толщ эоценового и верхне-мелового возраста.

Наиболее значительны месторождения Маднеули в Грузии, Дзансул (Мургул) и Кварцхана в Турции. И здесь ведущую роль играет медь; местами, в верхних горизонтах рудных тел, много барита, свинца, цинка.

В Алавердском и Кафанском рудных районах широко развиты лакколитоподобные тела, штоки, дайки кварцевых порфиров и альбитофиров, представляющие собой магматические образования малых глубин (субвулканические образования). Пространственно и генетически (по общности родоначального очага) с малыми интрузивами кварцевых порфиров и альбитофиров связана большая часть крупных колчеданных месторождений Малого Кавказа — Алаверди, Шамлуг, Ахтала, Кафан, Шаумян (в Армении), Кедабек, Бити-Булах, Чирагидзор (в Азербайджане).

Вопрос о возрасте малых интрузивов и связанного с ними колчеданного оруденения долгое время был дискуссионным; его и сейчас нельзя считать окончательно решенным. Однако на основании многочисленных исследований (А. Т. Асланян, Г. А. Казарян, Р. А. Аракелян, Г. О. Пиджян, Э. Г. Малхасян, Ю. А. Лейе, В. Т. Акопян и др.) установлено, что в Алавердском рудном районе альбитофиры и кварцевые порфиры рвут осадочно-вулканоогенный комплекс доггера и оксфорда, а в Кафанском рудном районе секут толщи средней юры и кимериджа; таким образом, возраст альбитофиров и кварцевых порфиров устанавливается в довольно узком интервале: верхнеюрский — предсеноманский. Для минерализации этой эпохи характерны медь, свинец, цинк, серебро, золото, барий, серный колчедан, отчасти мышьяк.

Наконец, в северо-восточной Армении развит комплекс эффузивных и частью экструзивных порфиритов, переслаивающихся с мергелями, туфами, туфо-конгломератами верхнемелового возраста.

Среди вулканогенно-осадочной толщи залегают небольшие месторождения кристаллических марганцевых руд (Саригюх, Севкар и др.), представленные зонами и жилами пирролизит-псиломелановых руд, сопровождающимися низко-температурным кварцем, халцедоном, агатом, баритом, кальцитом. Месторождения — частью эпигенетические, частью осадочные (с отложением марганца среди мергелистого ила на дне бассейна), однако источник минерализации во всех случаях связан с подводными вулканическими извержениями и эксгаляциями. По условиям образования к ним близки гематитовые месторождения Чатахского рудного поля в Грузии. Возраст оруденения верхнемеловой, характерные металлы железо и марганец.

Таким образом, в пределах Алаверди-Кафанского структурно-металлогенического пояса можно выделить четыре цикла магматизма и минерализации, которые развивались в следующей последовательности:

1) верхнеюрский — предсеноманский цикл малых близ-поверхностных интрузий кварцевых порфириров и альбитофи-ров с интенсивным колчеданным оруденением (Алаверди, Шамлуг, Ахтала, Кафан, Шаумян и др.);

2) предсеноманский цикл гранодиоритов — кварцевых диоритов со скарновыми железорудными месторождениями (Кохб, Шишкерт и др.) и слабой гидротермальной минерализацией (железо, медь, свинец, цинк, барит);

3) верхнемеловой цикл эффузивных и экструзивных пор-фириров с небольшими эпигенетическими месторождениями кристаллических пирролизит-псиломелановых руд (Саригюх-Севкар и др.);

4) верхнеоценовый цикл гранодиоритов (а за предела-ми Армении также дацитов и андезитов) со скарновыми и гидротермальными месторождениями меди (Сисимадан, Ан-кадзор) и телетермальными месторождениями полиметалли-ческих руд (Привольное, Мовсес).

В целом для Алаверди-Кафанского пояса основным ме-таллом является медь в колчеданном типе месторождений; второстепенное значение имеют железо, свинец, цинк, барит, серный колчедан, примесь благородных и редких металлов.

Памбак-Зангезурский структурно-металлогени-ческий пояс включает Памбакский (Мисханский), Дарала-гязский и Зангезурский рудные районы с очень интенсивным медно-молибденовым оруденением, образующим пояс мине-

рализации протяженностью до 250 км, частично скрытый под четвертичными лавами Гегамского вулканического плато.

Подчиненное значение имеет полиметаллическое (местами с примесью сурьмы, ртути) оруденение, тесно связанное с медно-молибденовым, а местами также мышьяковое (реальгар-аурипигментовое) и железорудное (апатит-магнетитовые и титаномагнетитовые руды). Известны также проявления золота, флюорита.

Памбак-Зангезурский пояс на юге четко отделен от Алаверди-Кафанского Хуступ-Гирратахским разломом типа надвига; к северу граница поясов скрыта под покровами постплиоценовых лав и снова намечается по серии разломов вдоль рек Агстев и Гарпи, на северном склоне Памбакского хребта.

Памбак-Зангезурский пояс характеризуется интенсивной складчатостью, развитием палеозойских толщ в нижнем структурном ярусе и широким развитием вулканогенных толщ верхнемелового и третичного (эоцен, олигоцен, миоплиоцен) возраста и квартера в верхнем структурном ярусе.

На отдельных участках зоны, в ядрах крупных антиклиналей, обнажаются интенсивно дислоцированные и метаморфизованные породы кембрия-докембрия, прорванные палеозойскими (каледонскими и частью герцинскими) гранитоидными интрузиями. Этот древний комплекс пород в пределах пояса трансгрессивно перекрыт отложениями различного возраста: на юге (в Зангезуре) — отложениями верхнего девона, в средней и северо-западной частях — породами верхнего мела и эоцена.

В отличие от Алаверди-Кафанского пояса, испытавшего погружение с начала средней юры, Памбак-Зангезурский в течение всей юры и нижнего мела обнаруживал ясно выраженные геоантиклинальные тенденции, и нигде на всем его протяжении отложений указанного времени не установлено. Интенсивная складчатость охватывает отложения до верхнего эоцена и олигоцена включительно, сопровождаясь крупными разрывами типа надвигов.

Весь отмеченный комплекс пород слагает антиклинорий, имеющий общекавказское простираие с северо-запада на юго-восток. Его прорывают гранитоидные интрузии олигоцен-миоценового возраста, а местами вдоль наиболее молодых разломов — небольшие экстрезии андезитов-дацитов, вероятно, плиоценового возраста.

Ось антиклинория индულიрует на всем протяжении пояса; она вздымается на юго-востоке, где вскрыты эрозией палеозойские образования, крупные массивы гранитоидов (Мегринский, площадью до 1000 км<sup>2</sup> и др.) и генетически

тесно с ними связанные медно-молибденовые рудные поля, и погружается к северо-западу, в Даралагазе, в связи с чем здесь получили широкое развитие породы эоцена, прорванные небольшими штокообразными телами гранитоидов. С последними связано полиметаллическое оруденение и местами проявляющееся медно-молибденовое. Еще далее к северо-западу пояс скрывается под мощным плащом лав Гегама (Агмаганского) вулканического нагорья и вновь выступает из-под них в бассейне р. Маман, где в результате вздымания оси антиклинория обнажается древний комплекс пород с перекрывающими их породами верхнего мела и эоцена и массивами гранитоидных пород.

Среди интрузивных массивов, иногда в порфиридах и известняках зоны экзоконтакта, обычно в тесной связи с дайковой серией гранит-порфиров и гранодиорит-порфиров, развита интенсивная медно-молибденовая минерализация, которая представлена мощными зонами штокервового характера, местами своеобразным типом исключительно богатых металлами брекчиевидных руд (в раздробленных порфиридах кровли рудоносных массивов), а также скарных рудами (в известняках) и мощными кварцево-рудными жилами, выполняющими трещины в интрузивах.

Господствующим в Памбак-Зангезурском поясе является медно-молибденовый тип оруденения. В тесной связи с ним, обычно на периферии рудных полей, вдоль более поздних наложенных структур, развито полиметаллическое (с примесью меди и молибдена) оруденение, представленное сравнительно небольшими концентрациями руд. Наряду с главными металлами — медью, молибденом, свинцом, цинком — локально с этими же гранитоидами связаны небольшие концентрации сурьмы, золота, железа и ртути.

Со щелочным комплексом Памбака и Зангезура (щелочные и нефелиновые сиениты) генетически связаны отдельные проявления редких земель, флюорита и др.

С более основными дифференциатами магматического очага, а именно с габбро-диоритами, пироксенитами и оливинитами связаны концентрации апатит-магнетитовых и титаномагнетитовых (с примесью ванадия) руд. Общий характер металлогении олигоцен-миоценового цикла, определяющий и металлогению зоны в целом, таков: господствующими являются медь и молибден, подчиненное значение имеют золото, свинец, цинк, сурьма, железо, титан, ванадий, небольшую роль играет ртуть.

Что касается металлогении древних (каледонских и частично герцинских) интрузивов, а также плиоценовых андезитов-дацитов, то эти вопросы изучены пока слабо.

С древними гранитоидами связаны небольшие медно-гематитовые, полиметаллические и баритовые месторождения, а также установленные шлиховым опробованием знаки золота, касситерита, вольфрамита, шеелита, базовисмутита и арсенопирита в аллювии рек, размывающих эти массивы; с древними гипербазитами — ничтожные по размерам проявления хромита.

С плиоценовыми андезито-дацитами связаны, вероятно, некоторые проявления мышьяка (реальгара) и ртути.

Сходные с описанными для Памбак-Зангезурского пояса черты магматизма и металлогении отмечаются и для западного склона Зангезурского хребта (Нахичеванская АССР) и юго-восточного продолжения Памбак-Зангезурского антиклинория (Иранский Карадаг). Здесь также широко развиты медно-молибденовые и тесно с ними связанные полиметаллические месторождения с примесью молибдена; известны крупные концентрации реальгар-аурипигментовых руд, проявления сурьмы, ртути, золота.

Севано-Амассийский структурно-металлогенический пояс заложен в верхнемеловое время. Он проходит по границе Алаверди-Кафанского и Памбак-Зангезурского поясов, частично в пределах первого из них, пересекая его под острым углом.

Этот пояс характеризуется мощным развитием верхнемеловых и эоценовых вулканогенно-осадочных отложений, смятых в изоклинальные складки и нарушенных глубинным разломом. Среди вулканогенно-осадочной толщи эоцена отмечены небольшие субвулканические интрузии кварцевых порфиров, с которыми тесно ассоциируют серноколчеданные и частью медноколчеданные руды (месторождения Тандзут и Чибухли). Вдоль разлома в вулканогенно-осадочную толщу верхнего мела внедрились гипербазиты и габбро верхнемелового-эоценового возраста, образующие пояс, прослеженный далеко за пределами Малого Кавказа. С гипербазитами связаны многочисленные месторождения хромита (Шоржа, Джилъ и др.), проявления никеля, платины, асбеста, магнетита.

Значительно позже возникновения глубинного разлома, совпадающего с гипербазитовым поясом, по-видимому, в миоцене-плиоцене, в связи с повторным приоткрыванием шва разлома, образовались небольшие штоки гранодиорит-порфиров и дацитов. С последними связано окварцевание и местами низкотемпературное оруденение, представленное золотом, сурьмой, ртутью, мышьяком (реальгар, аурипигмент).

На продолжении Севано-Амасийской зоны — в Азербайджане и Турции — наблюдается тот же характер магматизма и металлогении; здесь имеются промышленные концентрации хрома и мышьяка.

Данные о магматических циклах и связанной с ними металлогении территории Армении приведены в табл. 1.

Промышленное оруденение территории Армении — мезо-кайнозойского возраста. Выделяются две металлогенические эпохи — киммерийская (верхняя юра — нижний мел) и альпийская (верхний мел — третичный период). Ниже, в табл. 2, приводится характеристика этих металлогенических эпох.

Внутри киммерийского металлогенического цикла выделяются два этапа: ранний, представленный колчеданным оруденением (в связи с кварцевыми порфирами и альбитофирами верхнеюрского возраста), и средний этап, представленный железорудными скарнами и гидротермальной (медь, кобальт, свинец, цинк, барит) минерализацией, связанной с гранитоидами предсенноманского возраста. Пространственно киммерийская металлогения локализована в восточной—юго-восточной части Малого Кавказа (Сомхетско-Кировабадской пологоскладчатой зоны), в области широкого развития вулканогенных толщ средне- и верхнеюрского возраста.

Внутри альпийского металлогенического цикла выделяются четыре этапа: ранний, представленный колчеданным, железо-марганцевым, а также хромитовым оруденением (верхний мел — эоцен), средний со скарновыми железорудными и гидротермальными медными и полиметаллическими месторождениями (верхний эоцен), поздний с интенсивной медно-молибденовой минерализацией (олигоцен-миоцен), конечный с низкотемпературными месторождениями золота, мышьяка, сурьмы и ртути (миоцен-плиоцен).

Минерализация раннего и среднего этапов альпийской металлогении локализуется в западной—северо-западной части Малого Кавказа (Сомхетско-Кировабадской пологоскладчатой зоны), в области широкого развития вулканогенных толщ эоцена и верхнего мела; только хромитовое оруденение приурочено к глубинному разлому Севано-Амасийской зоны. Альпийская металлогения позднего этапа имеет место в Памбак-Зангезурском антиклинории, а конечного — главным образом приурочена к молодым разломам Севано-Амасийской зоны, частью к структурам, секущим Памбак-Зангезурскую зону (складчатую зону Армении).

Закономерное развитие во времени отдельных этапов магматизма и металлогении с обособлением в пространстве

Магматические циклы		Типы месторождений и примеры их	Состав руд		Экономическая оценка
Возраст	Состав пород		Главные металлы	Примеси и редкие металлы	
Каледонский и герцинский	Лейкократовые граниты, кварцевые диориты	Медно-гематитовый, полиметаллический, баритовый (в шлихах золото, касситерит, вольфрамит, арсенирит, висмутин)	Cu, Fe, Pb, Zn, Ba	Au, W, Sn, Bi, As	Небольшие проявления
Средняя—верхняя юра	Кварцевые порфиры и альбитофиры (субвулканические)	Медноколчеданный, барит-полиметаллический (м-ния Алаверди, Шамлуг, Ахтала, Кафан, Шаумян и др.)	Cu, Pb, Zn, Ba	As, Cd, Se, Te, Au, Ag и др.	Промышл. м-ния среднего масштаба
Нижний мел	Гранодиориты, кварцевые диориты	Скарновый железорудный (Кохб, Шишкерт)	Fe	Cu, (Co)	Небольшие м-ния
Верхний мел	Порфириты, андезиты (экструзивы и субвулканические)	Экспозиционно-осадочный марганцевый и железорудный (Севкар—Саригюх, Сваранц, Чайкенд и др.)	Mn, Fe	Ti	Небольшие м-ния
Верхний мел—эоцен	Гипербазиты, габбро	Хромитовые м-ния (Шоржа, Джиль и др.)	Cr	Ni, Co, группа, Pt	Небольшие м-ния
Верхний эоцен	Кварцевые диориты, гранодиориты, габбро	Скарновый железорудный, титаномагнетитовый (Раздан, Сваранц, Калакар)	Fe	Ti, V	Промышл. м-ния
Верхний эоцен	Кварцевые порфиры (субвулканические)	Серно- и медноколчеданный (Тандзут, Чибухлы)	Серный колчедан, Cu	Se, Te, Au, Ag	Небольшие м-ния
Олигоцен—миоцен	Граниты, гранодиориты, гранит-порфиры	Медно-молибденовый (Каджаран и др.), полиметаллический (Газма и др.), золото-сульфидный (Мергадзор)	Cu, Mo; Pb, Zn; Au	Re, Se, Te	Круп. м-ния Cu, Mo, Au, небольшие Pb, Zn
Миоцен—плиоцен	Дациты, фельзиты, диабазы (субвулканические)	Золото-висмут-теллуrowый (Зод), апатит-магнетитовый (Абовян)	Au, Fe	Te, Bi, Ag, Sb, Hg, As, TR	Круп. Au и Fe м-ния; Проявления Sb, Hg, As

Таблица 2

Характеристика металлогенических эпох и развитие их в отдельных поясах

Металлогенические эпохи	Этапы развития и возраст	Области локализации	Главные месторождения	Состав руд	
				Главные металлы	Металлы-примеси
Киммерийская	Ранний (J <sub>2</sub> —J <sub>3</sub> )	Алаверди-Кафанский пояс и области к В—ЮВ и З—СЗ от него	Алаверди, Шамлуг, Ахтала, Кафан, Кедабек, Чирагидзор; Дашкесан, Қохб	Cu, Pb-Zn, Ba; Fe, Co	As, Cd, Se, Te, Au, Ag
	Средний (C <sub>T1</sub> )				
Альпийская	Ранний (C <sub>T2</sub> )	Алаверди-Кафанский пояс	Севкар—Саригюх, Чатахи	Mn, Fe	Tl, Co
	Ранний (C <sub>T2</sub> —эоцен)	Севано-Амасийский пояс	Шоржа, Гейдара и др.	Cr	Ni, Co, Pt-гр
	Ранний (C <sub>T2</sub> —эоцен)	Алаверди-Кафанский и Севано-Амасийский пояса	Маднеули, Дзансул, Кварцхана, Тандзут, Чибухли	Cu, Pb, Zn, Ba	Se, Te, Au, Ag
	Средний и частью поздний (верхний эоцен—олигоцен-миоцен)	Памбак-Зангезурский пояс, Севано-Амасийский пояс	Каджаран, Агарак, Дастакерт, Анкаван; Меградзор, Личквас, Амзачиман; Раздан, Сваранц; Газма, Азатек и др.	Cu, Mo; Au, Pb, Zn; Fe; Au	Re, Se, Te; Cd, Ag; Tl, V, TR
	Конечный (миоцен-плиоцен)	Севано-Амасийский и Памбак-Зангезурский пояса	Зод, Дарри-даг, Абовян	Au, As, Fe	Te, Bi, Sb, Hg, Ag, TR

структурно-металлогенических зон со своей спецификой минерализации служит основой прогнозирования и направления поисково-разведочных работ. Руководствуясь установленными закономерностями, геологи, изучающие Малый Кавказ, на этой, казалось бы, очень детально исследованной территории открыли за последнее десятилетие новые, в настоящее время уже освоенные промышленностью или перспективные месторождения медно-молибденовых руд, железа, свинца и цинка, золота, сурьмы, ртути и рассеянных металлов. Эта успешная проверка практикой убедительно подтверждает существование общих закономерностей в развитии металлогении, ждущих своего дальнейшего изучения.

## II. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕДКИХ И БЛАГОРОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО РУДНЫМ ФОРМАЦИЯМ

### А. МЕДНО-МОЛИБДЕНОВАЯ ФОРМАЦИЯ

Медно-молибденовая формация главным образом развита в пределах Памбак-Зангезурской структурно-металлогенической зоны. В эту формацию, кроме собственно медно-молибденовых (Каджаран, Агарак, Дастакерт и др.), входят также медные, с подчиненной ролью молибдена (Джиндара, Гехи и др.) и молибденовые с небольшой ролью меди (Айгедзор, Анкаван, Капутджух и др.).

Пространственно и генетически, в смысле общности родоначального очага, медно-молибденовая минерализация тесно связана с гранитоидами Памбак-Зангезурского антиклинория и в особенности с порфиридными гранодиоритами и гранитами третьей, самой молодой (миоценовой) фазы внедрения.

Медно-молибденовые месторождения располагаются среди интрузивных пород, частью в породах кровли, всегда в непосредственном экзо- или эндоконтакте рудоносных гранитов-гранодиоритов. Важным фактором контроля минерализации являются дайки гранодиорит-порфиров, разломы и зоны дробления.

Наиболее широко развитым и промышленно важным является прожилково-вкрапленный тип минерализации, представленный мощными зонами гидротермально измененных пород с густой сетью тонких прожилков кварц-сульфидного состава и вкрапленностью сульфидов. Второстепенное значение имеют кварцево-рудные жилы более богатые медью и в особенности молибденом. В отдельных случаях развиты необычно богатые зоны брекчиевидных руд.

Промышленные медно-молибденовые месторождения относятся к типу среднетемпературных гидротермальных умеренных глубин с хорошо выдерживающейся на глубину минерализацией, развивающейся в течение ряда последовательных стадий. Детальное изучение отдельных рудных полей и систем рудных прожилков различного минерального

состава привело исследователей к выделению для отдельных месторождений от 5—6 до 10 стадий минерализации, обособляющихся в пространстве. Порядок выноса металлов из магматического очага обычно следующий: молибден, медь, цинк, свинец.

Прожилки различных стадий минерализации отличаются друг от друга не только содержанием и соотношением главных минералов и металлов, но также содержанием в одноименных минералах различных стадий таких рассеянных металлов, как рений, селен, теллур и др.

В рудах промышленными минералами являются халькопирит и молибденит, второстепенное значение имеют пирит, сфалерит, галенит, борнит, блеклые руды, энаргит и другие. Исследованиями последних десяти лет установлен также ряд минералов редких и благородных элементов: алтаит, гессит, петцит, креннерит, теллуrowисмутит, тетрадимит, самородный теллур, висмутин, галеновисмутит, виттихенит, эмплектит, самородный висмут, реньерит, германит и др.

## 1. Каджаранское месторождение

Месторождение расположено в западной части Кафанского района в верховьях р. Охчи. В рудном поле месторождения выделяются следующие участки: Центральный, Северо-восточный, Давачи, Мякан, Ширин, Кармир-кар, Шлоркут и Аткиз.

Геологическое строение рудного поля изучали В. Г. Грушевой (1932), С. А. Мовсеян (1941), С. С. Мкртчян, П. С. Саакян, К. И. Лягин и др.

В геологическом строении рудного поля принимают участие вулканогенно-осадочные породы нижнего эоцена и прорывающие их монциты и порфиоровидные граниты и гранодиориты, принадлежащие к разным фазам внедрения Мегри-Ордубадского полифазного плутона эоцен-олигоценного возраста. В пределах рудного поля широко развиты жильные породы, главным образом гранодиорит-порфиры, возраст которых повсеместно устанавливается как дорудный.

Контролирующей структурой рудного поля является региональный Дебаклинский (Таштунский) разлом, к висячему боку которого приурочено оруденение. Промышленное оруденение на участках месторождения приурочено к оперяющим региональный разлом трещинам широтного, северо-восточного и северо-западного простирания.

Таблица 3

Содержания рения, селена и теллура в разных генерациях главных рудообразующих сульфидов (А. С. Фармазян, Р. Н. Зарьян, 1964)

Стадия минерализации, наименование минерала	Рений			Селен			Теллур		
	Кол-во анализов	Содержание, ‰		Кол-во анализов	Содержание, ‰		Кол-во анализов	Содержание, ‰	
		от—до	сред- нее		от—до	сред- нее		от—до	сред- нее
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I. Кварц-магнетитовая									
Молибденит	3	0,026 - 0,035	0,0303	3	0,0080—0,031	0,0227	3	сл.—0,016	0,0015
Халькопирит		—		3	0,0082—0,0097	0,0088	3	0,0002—0,0003	0,0002
Пирит		—		1	0,0080	0,0080	1	0,0021	0,0021
II. Кварц-полевошпатовая									
Молибденит	6	0,034—0,050	0,0407	6	0,0015—0,057	0,0298	6	сл.—0,0090	0,0033
Халькопирит		—		2	0,0084—0,0104	0,0094	2	0,0002—0,0012	0,0007
III. Кварц-молибденитовая									
Молибденит	66	0,019—0,073	0,0312	74	0,0020—0,0610	0,0276	74	0,0005—0,010	0,0032
Халькопирит		—		3	0,0110—0,034	0,0230	3	0,0009—0,0070	0,0046
Пирит		—		2	0,0065—0,010	0,0083	2	0,0016—0,0080	0,0048
IV. Кварц-молибденит-халькопиритовая									
Молибденит	21	0,020—0,243	0,0853	22	0,0090—0,128	0,055	22	0,0020—0,0091	0,0044
Халькопирит		—		17	0,0080—0,048	0,0241	17	0,0004—0,022	0,0052

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V. Кварц-халькопиритовая									
Молибденит	8	0,019—0,032	0,0243	8	0,0070—0,037	0,0212	8	0,0010—0,084	0,0044
Халькопирит		—		44	0,003—0,048	0,0225	44	0,0007—0,0180	0,0052
Пирит		—		4	0,006—0,029	0,0140	4	0,0008—0,0064	0,0031
VI. Кварц-пиритовая									
Молибденит									
Халькопирит	5	0,030—0,037	0,0308	6	0,0170—0,038	0,0278	6	0,0026—0,0110	0,0070
Пирит		—		5	0,0120—0,020	0,0170	5	0,0018—0,0090	0,0056
		—		33	0,0010—0,026	0,0064	33	0,0001—0,031	0,0046
VII. Кварц-сфалерит-галенитовая									
Халькопирит									
Пирит		—		5	0,0123—0,024	0,0159	5	0,0012—0,060	0,0187
Сфалерит		—		4	0,0070—0,014	0,0101	4	0,0080—0,0120	0,0096
Галенит I		—		13	0,0013—0,008	0,0047	13	0,0010—0,0140	0,0051
Галенит II		—		10	0,0020—0,0086	0,0044	10	сл.—0,0035	0,0027
		—		10	0,017—0,055	0,0291	10	0,010—0,180	0,0430

Руды представлены главным образом штокверковым типом; подчиненное значение имеет жильный тип. Наиболее богатые участки медно-молибденовой минерализации приурочены к сильно гидротермально измененным (серицитизированным, окварцованным) зонам монзонитов, которые, как правило, контролируются дайками гранодиорит-порфиров, развитых преимущественно на Центральном и Северо-восточном участках.

По К. А. Карамяну и А. С. Фарамазяну (1960), формирование месторождения происходило в десять последовательных стадий минерализации, из которых промышленную ценность представляют руды средних стадий: кварц-молибденитовая, кварц-молибденит-халькопиритовая и кварц-халькопиритовая. При этом устанавливается отчетливая пульсационная горизонтальная зональность, выраженная в смене преимущественного развития одних стадий минерализации другими по мере удаления от основной рудоконтролирующей структуры (Дебаклинского разлома): от высокотемпературных на западе (участки Центральный, Давачи) к сравнительно низкотемпературным на востоке (участки Мякан, Ширин, Аткиз).

Руды месторождения характеризуются большим разнообразием минерального состава. К числу главных рудообразующих минералов относятся молибденит, халькопирит, пирит, сфалерит, галенит, магнетит, из которых лишь первые два представляют промышленную ценность. Второстепенными минералами являются энаргит, люцит, висмутин, медно-висмутовые минералы, мышьяковые и сурьмяные блеклые руды, борнит. К редким минералам руд относятся алтаит, гессит, петцит, теллуrowисмутит, тетрадимит, галеновисмутит, *креннерит* (?), *аргентит*, *бурнонит*, *шеелит*, а также самородные теллур (?), висмут, золото и серебро (А. С. Фарамазян, 1958; Г. О. Пиджян, 1960<sub>1</sub>). Жильные минералы представлены в основном кварцем, карбонатами, серицитом и каолинитом. В зоне окисления отмечаются гипергенные окислы, гидроокислы, карбонаты, сульфаты, молибдаты и др. (Е. А. Акоюн, 1960).

Кроме основных полезных компонентов — молибдена и меди, руды месторождения несут примесь Re, Se, Te, Ge, Cd, Bi, Au, Ag и др., изучением которых занимался ряд исследователей.

Первые сведения о наличии в рудах высоких концентраций рассеянных элементов (рения, селена и теллура) принадлежат И. Г. Магакьяну и Г. О. Пиджяну, которыми установлено наличие рения от 10 до 380 г/т в штуфах, молибденовых концентратах и молибденитах. Эти результаты были под-

тверждены последующими работами, при этом было отмечено, что крупночешуйчатые руды молибденитов содержат больше рения, чем мелкочешуйчатые. Кроме того, на примере Каджаранского месторождения впервые была установлена ценность медно-молибденовой формации руд в отношении селена и теллура.

В. И. Луценко и С. С. Акмаева (1960) изучали продукты флотации руд месторождения (медные и молибденовые концентраты) и дали баланс распределения редких элементов. Специально минералого-геохимические особенности руд месторождения в течение ряда лет (1956—1961) изучал А. С. Фарамазян. Вопросами геохимии селена и теллура руд месторождения занимался Р. Н. Зарьян. Редкометальность руд Каджарана, с целью промышленной оценки и подсчета запасов, изучалась также М. Л. Лачиняном.

А. С. Фарамазяном было установлено, что содержания рассеянных элементов в рудах разных стадий минерализации изменяются и подчинены определенным закономерностям. Это достаточно четко проявляется на примере изменений содержаний рения, селена и теллура в главных рудообразующих минералах месторождения (табл. 3).

Так, если наиболее высокие содержания рения и селена приурочены к сульфидам средних стадий минерализации, то для теллура характерно накопление в сульфидах конечных рудосносных стадий минерализации. Кроме того, при рассмотрении содержаний рения и селена в молибденитах заметно, что между их содержаниями существует некоторая зависимость, о которой отмечалось в работах многих исследователей (Г. О. Пиджян, 1956, А. С. Фарамазян, 1961, К. А. Карамян, 1962). Используя данные А. С. Фарамазяна (1961), В. К. Могаровский (1963) математически доказал существование положительной корреляционной зависимости между рением и селеном. Коэффициент корреляции определен  $r_{\text{Re, Se}} = +0,84$  с линейным уравнением регрессии:

$$\text{Se} [\%] = 0,58 \cdot \text{Re} + 0,0122;$$

$$\text{Re} [\%] = 1,21 \cdot \text{Se} - 0,0027.$$

Из других минералов-носителей селена и теллура следует отметить также борнит ( $\text{Se}—0,024\%$ ,  $\text{Te}—0,0075\%$ ) и тетраэдрит ( $\text{Se}—0,043\%$ ,  $\text{Te}—0,021\%$ ).

Изучая закономерности распределения рения в продуктах флотации руд, В. И. Луценко и С. С. Акмаева пришли к выводу, что рений концентрируется исключительно в молибденитах, а отношение  $\text{Re} [\text{г/т}] : \text{Mo} [\%]$  — модуль — для руд и концентратов является постоянной величиной, равной порядка 5,1. Однако, как следует из приведенных результатов исследований (табл. 3, 4), незначительные содержания рения

Содержание рения в некоторых продуктах руд и сульфидах  
(данные А. С. Фарамазяна)

Наименование пробы	Кол-во анализов	Содержание рения, г/т	
		от—до	среднее
Штуф руды	3	1,5—3,0	2,2
Богатый халькопиритовый штуф	4	1,3—3,0	1,9
Медный концентрат	6	1,2—2,5	1,7
Халькопирит-пиритовый концентрат	1	1,0	1,0
Пиритовый концентрат	1	1,0	1,0
Цинковый концентрат	1	1,0	1,0
Халькопирит*	13	не обн.—2,0	1,0
Пирит*	9	не обн.—1,0	0,7
Сфалерит	1	не обн.	—
Галенит	2	не обн.	—

\* 5 анализов халькопирита и 2 анализа пирита по Г. О. Пиджану.

устанавливаются также в других сульфидах руд, и, кроме того, содержания рения в молибденитах весьма неравномерны не только в разных стадиях минерализации, но и в молибденитах одной и той же стадии, т. е. существование постоянной величины — модуля рения для руд месторождения в целом недостаточно обосновано.

Несколько ошибочные сведения по содержаниям рения в рудах приводятся также в работе М. Л. Лачиняна. Например, среднее содержание рения в окисленных забалансовых рудах, согласно М. Л. Лачиняну, составляет 14,5 г/т, что в несколько раз превосходит содержание рения в сульфидных рудах. Кроме того, приведенные содержания рения в медных концентратах (до 177 г/т) и отвальных хвостах (до 2 г/т) сильно завышены и не соответствуют действительности, ибо концентрация рения в халькопиритах редко достигает 1,5—2,0 г/т, а в рудах — обычно составляет несколько десятых долей г/т.

Касаясь формы нахождения рения, селена и теллура в рудах, следует отметить, что в отличие от теллура, часть которого в рудах представлена в виде самостоятельных минералов-теллуридов Pb, Bi, Au и Ag, рений и селен встречаются исключительно в виде изоморфной примеси. При этом рений ( $Re^{4+}$ ) в силу сходства ряда кристаллохимических свойств с молибденом ( $Mo^{4+}$ ) замещает его в молибденитах, а селен ( $Se^{2-}$ ) замещает серу ( $S^{2-}$ ) в сульфидах.

В отношении распределения селена и теллура в рудах А. С. Фарамазяном в 1960 г. было установлено, что они приурочены преимущественно (на 85—90%) к халькопиритам и пиритам, и если молибденит является минералом-концентратором этих элементов, то халькопирит и пирит представляются как основные минералы-носители селена и теллура, так как количество халькопирита и пирита в рудах значительно больше, чем молибденита. Количественно-минералогическими подсчетами установлено, что в рудах количество халькопирита в 15—20 и пирита в 7—10 раз больше, чем молибденита.

Незначительные содержания селена и теллура отмечены также в некоторых минералах зоны окисления. По данным А. С. Фарамазяна в окисленной медно-молибденовой руде установлено до 0,5 г/т Se и Te; в смеси гипергенных халькозина и ковеллина с гипогенным халькопиритом обнаруживается Se — 90, Te — 70 г/т; в лимоните (2 пробы) — Se—10, Te—1,0 г/т; в хризоколле ни селен, ни теллур не обнаружены. Среди гипергенных минералов наиболее высокое содержание селена и теллура установлено в ярозите: Se—145, Te—20 г/т.

Спектральными и химическими анализами установлено, что руды месторождения содержат примесь германия, часть которого рассеяна в сульфидах.

Как следует из табл. 5, основными носителями германия в рудах являются халькопирит и сфалерит. При этом в халькопиритах преобладающая часть обнаруживаемого германия, по-видимому, связана с включениями аксессуарных энаргита и люцитита, которые содержат Ge до 0,01% (А. С. Фарамазян, Э. Х. Хуршудян, 1963). Это подтверждается данными табл. 5, откуда следует, что с повышением содержания мышьяка повышается также содержание германия.

Таблица 5

Содержание и распределение германия в сульфидах по данным спектральных анализов (по А. С. Фарамазяну)

Минералы	Кол-во анализов	Частота встречаемости, %					
		Не обн.	До 0,0005	0,0005—0,001	0,001—0,003	0,003—0,01	0,01—0,03
Молибденит	90	17	55	28	—	—	—
Халькопирит	106	—	64	31	5	—	—
Пирит	50	52	48	—	—	—	—
Сфалерит	84	—	12	49	26	10	3
Галенит	64	86	14	—	—	—	—

Таблица 6

Содержание меди, мышьяка и германия в рудных штуфах  
(данные А. С. Фарамазяна)

Наименование пробы	Содержание, %		
	Медь	Мышьяк	Германий
Халькопиритовый штуф	30,5	0,055	0,0001
Халькопиритовый штуф	31,5	0,067	0,0001
Халькопиритовый штуф	28,64	0,72	0,0018
Халькопирит-энаргитовый штуф	26,13	1,16	0,0024

В рудах установлена также незначительная примесь индия, самые высокие содержания которого, по данным А. С. Фарамазяна, рассеяны в сфалеритах (0,001—0,003%, редко 0,01%). При этом наиболее высокие содержания индия отмечаются в темных разностях сфалерита (в темно-буром сфалерите химическим анализом установлено до 0,0024% индия). Индий в количестве 0,01—0,03% отмечается в тетраэдрите, до 0,001% в галените. Химическими анализами он обнаруживается также в халькопиритах до 6,0 г/т; в среднем, по данным 10 проб, — 1,5 г/т. Безусловно, основная масса индия, рассеянного в рудах, связана с халькопиритом, в связи с чем он накапливается в медных концентратах, где его содержание составляет 4,0 г/т.

Исследованиями А. С. Фарамазяна установлено, что наиболее высокие содержания кадмия отмечаются в сфалеритах (табл. 7). Содержание кадмия в сфалеритах, по данным полярографических анализов (12 проб), колеблется в пределах 0,1—0,64%, при этом наиболее высокими содержаниями кадмия характеризуются светлые разности сфалерита — клейофан.

Таблица 7

Содержание и распределение кадмия в сульфидах  
по данным спектральных анализов

Минералы	Кол-во анализов	Частота встречаемости, %					
		Не обн.	0,01—0,03	0,03—0,1	0,1—0,3	0,3—1,0	1—3
Халькопирит	106	65	30	5	—	—	—
Галенит	64	36	53	11	—	—	—
Сфалерит	84	—	—	2	48	45	5

Наличие кадмия в халькопирите и галените, по-видимому, частично обусловлено механической примесью сфалерита, что подтверждается данными анализов, приведенными в табл. 8.

Таблица 8

Содержания цинка и кадмия в кадмийсодержащих сульфидах  
(по А. С. Фарамазяну)

Минералы	Содержание, ‰		Отношение Zn:Cd
	Цинк	Кадмий	
Сфалерит (черный)	63,0	0,34	185
Сфалерит (желтый)	66,82	0,64	97
Сфалерит (бурый)	63,76	0,34	184
Галенит	0,38	0,018	21
Галенит	0,44	0,021	21
Халькопирит	0,14	0,011	13
Халькопирит	0,10	0,019	11

Согласно результатам анализов, наиболее высокими содержаниями кадмия характеризуются сфалериты, однако широкое распространение в рудах халькопирита позволяет полагать, что основные концентрации кадмия сосредоточены именно в халькопиритах. В процессе флотации кадмий накапливается в основном в медных концентратах, где его содержание составляет 25—40 г/г.

Висмут в рудах месторождения является одним из широко распространенных элементов-примесей (табл. 9), наиболее высокие концентрации которого приурочены к рудам кварц-молибденит-халькопиритовой и кварц-халькопиритовой стадиям минерализации; исследованиями установлено,

Таблица 9

Содержание и распределение висмута в сульфидах по данным спектральных анализов (по А. С. Фарамазяну и Г. О. Пиджяну)

Минералы	Кол-во анализов	Частота встречаемости, ‰				
		Не обн.	0,001— 0,003	0,003— 0,01	0,01— 0,03	0,03— 0,1
Молибденит	107	48	20	32	—	—
Халькопирит	122	18	57	7	13	5
Пирит	63	43	55	2	—	—
Сфалерит	95	55	30	12	2	1
Галенит	70	23	29	17	6	25

что высокие содержания висмута обусловлены главным образом наличием включений висмутовых минералов в рудах.

Наиболее высокими содержаниями висмута характеризуются халькопириты и галениты, поэтому висмут при обогащении накапливается в медных концентратах. Приведенные

Таблица 10

Содержание висмута в некоторых продуктах руд месторождения  
(по Г. О. Пиджяну, А. С. Фарамазяну, С. С. Акмаевэй  
и Ж. Н. Григоряну)

Наименование пробы	Кол-во анализов	Среднее содержание висмута, ‰
Молибденит	1	0,016
Халькопирит	6	0,021
Пирит	2	0,0152
Галенит	4	0,096
Молибденовый концентрат	10	0,0113
Медный концентрат	11	0,0142
Отвальные хвосты	5	0,00086
Руда	5	0,00125

спектральные анализы подтверждаются химическими анализами (табл. 10) главных рудообразующих минералов, руд и продуктов флотации.

Исследованиями Г. О. Пиджяна и А. С. Фарамазяна установлено, что высокие содержания висмута в медных и полиметаллических рудах обусловлены главным образом наличием мелких включений висмутовых минералов, находящихся в тесных сростаниях с главными рудообразующими сульфидами — халькопиритом, пиритом, блеклыми рудами, галенитом и др. Несколько особо стоит вопрос о форме нахождения висмута в галените и молибдените. В первом иногда даже при очень тщательных исследованиях не удается установить минералов висмута, тогда как анализы обнаруживают до 0,1% Вi, т. е. висмут в галенитах, по-видимому, находится в растворенном (изоморфном) виде. Касаясь молибденитов, следует отметить, что они почти всегда содержат висмут совместно со свинцом в соотношениях  $Bi : Pb \sim 1 : 10$ , что, возможно, обусловлено присутствием сульфовисмутитов свинца, которые, будучи похожими на молибденит, при минераграфических наблюдениях пропускаются.

Детально изучен также характер распределения благородных металлов — золота и серебра. Результаты пробирных анализов некоторых проб приведены в табл. 11 (данные А. С. Фарамазяна). Следует отметить, что наиболее высокие содержания золота и серебра приурочены к рудам кварц-

Таблица 11

Содержание золота и серебра (пробирные анализы) в некоторых продуктах руд месторождения

Краткая характеристика пробы	Содержание, ‰				Содержание, г/т			Отношение Au:Ag
	Cu	Fe	Zn	Pb	Te	Au	Ag	
Медный концентрат (кварц-молибденит-халькопиритовая стадия)	31,8	—	—	—	30	2,4	91,1	1:38
Медный концентрат (кварц-халькопиритовая стадия минерализации)	30,5	—	—	—	6	0,4	70,6	1:177
Пиритовый концентрат (кварц-пиритовая стадия минерализации)	—	46,4	—	—	16	0,9	32,4	1:37
Штуфная проба кварц-сфалерит-галенитовой стадии минерализации	1,0	—	2,21	1,18	70	1,06	15,7	1:15
Продукты флотации:								
а) Пиритовый концентрат	5,96	30,00	3,02	6,13	220	1,40	45,4	1:32
б) Медно-молибденовый концентрат	6,17	26,2	7,50	4,20	180	1,20	35,6	1:30
в) Цинковый концентрат	0,68	4,00	40,40	0,43	370	8,75	32,75	1:37
г) Свинцовый концентрат	0,75	6,32	17,17	42,3	680	19,41	86,13	1:4,4
Галенит	0,10	—	—	86,10	1800	41,73	154,6	1:37
Медный концентрат	16,42	—	—	—	20	1,1	30,4	1:28
Медный концентрат	16,20	—	—	—	30	0,86	36,2	1:38

сфалерит-галенитовой стадии минерализации, однако их основные количества заключены в минералах главных рудообразующих стадий минерализации: кварц-молибденит-халькопиритовой и кварц-халькопиритовой.

Золото и серебро в рудах проявляются преимущественно в рассеянной (субмикроскопической) форме, и лишь небольшая часть представлена в виде самостоятельных минералов (теллуриды, сульфиды) и «видимого» самородного золота. Выделения последнего приурочены главным образом к рудам наиболее поздней, сравнительно низкотемпературной кварц-сфалерит-галенитовой стадии минерализации.

Результаты спектральных анализов главных рудообразующих сульфидов на содержание серебра приведены в табл. 12.

Таблица 12

Содержание и распределение серебра в сульфидах по данным спектральных анализов (по А. С. Фармазяну)

Минералы	Кол-во анализов	Частота встречаемости, %						
		Не обн.	До 0,001	0,001 0,003	0,003 0,01	0,01 0,03	0,03 0,1	0,1 0,3
Молибденит	90	5	87	7	1	—	—	—
Халькопирит	106	18	36	40	6	—	—	—
Пирит	50	28	64	8	—	—	—	—
Сфалерит	84	—	45	33	14	8	—	—
Галенит	64	—	—	—	37	39	6	18

Обобщение данных исследований позволяет говорить о необходимости организации извлечения из руд, наряду с молибденом и медью, ряда редких и благородных элементов, накапливающихся в медных и молибденовых концентратах.

## 2. Агаракское месторождение

Расположено в Мегринском районе, в ущельях рр. Агарак, Айдараси и Спетри. В геологическом строении месторождения принимают участие главным образом интрузивные породы, принадлежащие к разным фазам внедрения Мегри-Ордубадского плутона. Рудовмещающими породами являются гидротермально измененные сиенито-граниты и шток гранодиорит-порфиоров, внедрившийся в контакте между интрузией монзонитов и порфиоровидных гранодиоритов.

Рудное поле месторождения, по данным Н. А. Фокина, А. М. Аветисяна и др., заключено в массиве, ограниченном

Спетринским и Агаракским разломами близмеридионального простирания. В пределах рудного поля оруденение контролируется оперяющими структурами северо-восточного простирания.

Руды месторождения относятся к прожилково-вкрапленному типу с главной ролью вкрапленных руд. Основными промышленными минералами являются халькопирит и молибденит. По своему минеральному составу руды месторождения мало отличаются от каджаранских с той лишь разницей, что здесь, сравнительно большее развитие имеет медная минерализация по сравнению с молибденом (отношение  $Mo:Cu$  колеблется от 1:20 до 1:25). Руды сформировались в ряд последовательных стадий минерализации, состав и последовательность которых также сходны с каджаранскими.

Редкие элементы изучались в основном в главных рудообразующих сульфидах (табл. 13).

Повышенные содержания рения установлены также в медных рудах (до 0,0041%). Довольно высокие содержания висмута установлены в пиритах (до 0,003%) и халькопиритах (до 0,003%). Большая часть висмута, установленного в рудах и минералах, согласно Г. О. Пиджяну, связана с включениями самостоятельных минералов: висмутитина, эмплектита и виттихенита.

Таблица 13

Содержание Re, Se, Te и Ge в главных рудообразующих сульфидах (по Г. О. Пиджяну и А. С. Фарамазяну)

Минералы	Кол-во проб	Содержание, ‰			
		Рений	Селен	Теллур	Германий
Молибденит	6	0,038	0,0275	0,003	0,00015
Халькопирит	3	до 0,001	0,0170	0,004	до 0,001
Пирит	2	—	0,006	0,002	—

Золото и серебро также являются характерными примесями руд месторождения. По данным химических анализов, в медных рудах штолен 5, 7, 20 установлено серебро 14,6 г/т и золото до тысячных долей процента. При этом рассеянные в рудах золото и серебро связаны с одним из главных минералов — халькопиритом, что повышает промышленную ценность рассеянных и благородных металлов.

Приведенные выше материалы исследований показывают, что практический интерес в рудах, наряду с молибденом и медью, могут представить рений, селен, теллур, висмут, золото и серебро.

### 3. Дастакертское месторождение

Месторождение расположено на северном склоне Баргушатского хребта, в Сисианском районе. Оно открыто в 1945 г. И. Г. Магакьяном и В. Х. Ароян.

Наиболее детально изучали месторождение И. Г. Магакьян, С. С. Мкртчян, Г. О. Пиджян, А. Е. Казарян, К. А. Карамян, Э. Х. Гульян и др., в работах которых освещены геология, структура рудного поля, минералогия, геохимия и результаты разведочных работ.

В геологическом строении месторождения принимают участие вулканогенная толща (порфириды) нижнего эоцена и прорывающие ее интрузивные породы гранодиоритового состава.

Медно-молибденовое оруденение локализовано в экзо-контактной полосе интрузии в порфиридах и роговиках, а также частично в эндоконтакте, гранодиоритах. Концентрация медно-молибденовых руд контролируется зонами раздробленных, перетертых брекчированных пород. В результате разведочных работ выявлены две рудоносные зоны, вытянутые в северо-западном направлении. В пределах рудных зон встречаются несколько типов руд. Наиболее характерными для Дастакерта и богатыми по содержанию металлов (Mo—0,1—до 1%; Cu—0,5—1,5%) являются брекчиевидные руды, приуроченные к зонам дробления порфиридов. Широко развиты также прожилково-вкрапленные и вкрапленные руды, где содержание меди и молибдена обычно низкое (Mo—0,04—0,06%, Cu—0,2—1,0%).

На Дастакертском месторождении промышленными компонентами руд являются халькопирит и молибденит. В рудах установлены также борнит, пирит, сфалерит, галенит, магнетит, гематит, арсенопирит, энаргит, теннантит, тетраэдрит, алабандин и минералы редких и благородных элементов: висмутин, виттихенит, эмплектит, реньерит, германит, самородное золото и аргентит.

Различными исследователями (Г. О. Пиджян, К. А. Карамян и др.) выделяются от 4 до 10 стадий минерализации. Наиболее важное значение имеют: кварц-халькопиритовая, кварц-халькопирит-молибденитовая и кварц-карбонат-сфалерит-галенитовая стадии минерализации.

Таблица 14

Содержание редких элементов в различных типах руд по данным химических анализов

Типы руд, место взятия	Элементы, ‰						
	Cu	Mo	Re	Se	Te	Ga	Bi
Медно-молибденовая штучная проба, карьер 2	3,62	21,6	0,0056	0,0040	0,0053	—	—
Медно-молибденовая штучная проба, шт. 16	11,8	2,55	0,0005	0,0036	0,0017	0,002	0,07
Медно-молибденовая штучная проба, шт. 16	2,38	1,19	0,012	0,0020	He обн.	—	0,01
Медная руда с примесью молибдена, штучная проба, карьер 2	13,7	0,65	0,00015	0,0075	He обн.	0,0025	0,005
Медная руда с примесью молибдена, штучная проба, шт. 16 III кв.	25,3	0,25	0,0001	0,0036	He обн.	—	0,002
Медно-полиметаллическая руда	12,5	Следы	0,00001	0,0017	He обн.	—	0,005
Полиметаллическая руда, штучная проба, карьер 2	—	—	0,00001	0,0020	0,0063	—	0,03

Таблица 15

Содержание редких элементов и серебра в минералах по стадиям минерализации (данные химических анализов)

Стадии минерализации и минералы	Кол-во хим. анализов	Среднее содержание элементов, ‰							
		Re	Se	Te	Ge	Bi	Ag	Cd*	In*
Кварц-халькопиритовая									
1. Молибденит	2	0,0127	0,0091	0,0022	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
2. Халькопирит	2	Не обн.	0,0039	0,0030	0,00005	Не обн.	0,0008	Не обн.	Не обн.
Кварц-халькопирит-молибденитовая									
1. Молибденит	5	0,0246	0,0041	0,0040	0,0001	0,0230	0,0032	0,0006	Не обн.
2. Халькопирит	6	Не обн.	0,0143	0,0050	0,00015	0,0547	0,0050	0,0040	Не обн.
3. Пирит	2	0,0001	0,0070	0,0341	Не обн.	0,0425	0,0053	0,0015	Не обн.
Кварц-карбонат-сфалерит-галенитовая									
1. Сфалерит	3	0,00002	0,0026	0,0021	0,00018	0,0012	0,0044	1,0	0,0015
2. Галенит	2	Не обн.	0,0120	0,0140	0,00012	0,0570	0,0260	0,03	Не обн.
3. Халькопирит	2	0,00007	0,0070	0,0028	0,0003	0,0012	0,0014	Не обн.	Не обн.
4. Пирит	4	0,0001	0,0090	0,0119	Не обн.	0,0255	0,0061	0,07	Не обн.
Кварц-алабандиновая									
1. Алабандин	2	0,00007	0,0030	0,0001	0,0001	0,0087	0,0020	Не обн.	Не обн.

\* Данные спектральных анализов.

При изучении геохимических особенностей руд впервые И. Г. Магакьяном и Г. О. Пиджяном выявлены в рудах и отдельных минералах редкие и благородные элементы: рений, теллур, висмут, золото, серебро и др., представляющие интерес для попутного извлечения.

Ниже по данным Г. О. Пиджяна приводится содержание редких и благородных элементов в различных типах руд и отдельных минералах (табл. 14 и 15).

Полярорографическим методом, в полиметаллических рудах установлено высокое содержание кадмия: проба 119 шт. 40.—Cd—0,326 %, проба 112 шт. 40.—Cd—0,50 %.

Результаты химических анализов, приведенные в таблице 14, показывают, что рений и селен обнаружены во всех типах руд, однако эти элементы представляют практический интерес в медно-молибденовых и медных рудах. Повышенные содержания теллура и висмута установлены в медно-молибденовых и полиметаллических рудах. Галлий не характерен для руд Дастакерта.

В борните из южного участка месторождения химическим анализом установлены: Se—0,0140; Te—0,009, Ge—0,0002 %, Re—не обнаружено. В энаргите Ge—0,0024—0,0035 %.

Результаты анализов минералов, приведенные в табл. 15, показывают, что высоким содержанием рения характеризуются только молибдениты, причем молибдениты кварц-халькопирит-молибденитовой стадии минерализации почти в два раза богаче рением, чем молибдениты кварц-халькопирит-борнитовой стадии. Низкое содержание рения от 0,2 г/т до 1 г/т установлено в пирите и халькопирите кварц-карбонат-полиметаллической стадии, в сфалерите и алабандине. Повышенное содержание селена установлено во всех рудообразующих минералах. Однако наиболее высоким содержанием селена характеризуются халькопириты кварц-халькопирит-молибденитовой стадии минерализации и галениты. Высокие содержания теллура и в особенности висмута приурочены к минералам кварц-халькопирит-молибденитовой стадии минерализации, что объясняется в основном широким развитием минералов висмута и отчасти теллура в полях главных рудообразующих сульфидов. Самые высокие содержания висмута и теллура установлены: в пиритах, халькопиритах и галенитах. В молибденитах кварц-халькопирит-молибденитовой стадии минерализации отмечаются повышенные содержания висмута и отчасти теллура. Германий не характерен для главных рудообразующих сульфидов. Повышенные содержания его установлены только в энаргитах. Индий установлен только в сфалеритах. Высокими содержа-

ниями кадмия (до 3%) характеризуются лишь сфалериты. Серебро обнаружено почти во всех минералах, однако особенно богаты серебром галениты. Халькопириты и молибдениты кварц-халькопирит-молибденитовой стадии характеризуются более высокими содержаниями серебра, чем халькопириты и молибдениты других стадий минерализации. Повышенные содержания серебра отмечаются также в пиритах и сфалеритах.

По данным И. Г. Магакьяна и Г. О. Пиджяна, в медном концентрате установлено: Re—0,000052—0,00016, Se—0,0036—0,0140, Te—0,0005—0,002%, Au—1,2 г/т.

В молибденовом концентрате: Re—0,0138—0,0350, Se—0,0054, Te—0,0036%.

Таким образом, изучение закономерностей распределения редких и благородных элементов показывает, что главнейшие рудообразующие сульфиды Дастакерта характеризуются повышенными содержаниями рения, селена, теллура, висмута, золота и серебра, которые являются ценными примесями в рудах и должны комплексно извлекаться из молибденовых и медных концентратов.

#### 4. Анкаванское месторождение

Медные руды Анкаванского месторождения были известны давно и частично разрабатывались. Позже здесь были выявлены также молибденовые и золото-висмут-теллуровые руды, что значительно повысило ценность месторождения.

Руды Анкаванского месторождения богаты редкими и благородными элементами. Характер распределения и формы нахождения этих элементов освещены в работах Г. О. Пиджяна, А. И. Карапетяна, Н. С. Хачатряна и Б. Д. Акопян и др. Особенно интересны в отношении содержания редких и благородных элементов медно-мышьяковые руды, которые впервые здесь были выявлены Г. О. Пиджяном.

Месторождение, по В. Н. Котляру, приурочено к всляческому боку Мисханского разлома субширотного простирания и локально тесно связано с кварцевыми диоритами и порфировидными гранитами. В рудном поле, состоящем из нескольких участков, широкое развитие имеют жильные породы, представленные аплитами, пегматитами, гранодиорит-порфирами, граносиенит-порфирами и лампрофирами.

Весь процесс минерализации в пределах месторождения делится на два этапа: ранний, или скарновый, во время которого образовались гранат-магнетит-эпидотовые скарны с подчиненной ролью халькопирита и молибденита и поздний,

или гидротермальный этап, который частично наложен на скарны и подразделяется на: кварц-полевошпатовую, кварц-пирит-магнетитовую, кварц-молибденитовую, кварц-молибденит-халькопиритовую, пиритовую, энаргит-теннантитовую, галенит-сфалеритовую и кальцит-карбонатную стадии минерализации.

Промышленное оруденение молибдена связано с кварц-молибденитовой и кварц-молибденит-халькопиритовой стадиями минерализации, локализованными, главным образом в кварцевых диоритах. Основными рудными минералами этих стадий являются молибденит и халькопирит; незначительное развитие имеют пирит, борнит, марказит, гематит.

Энаргит-теннантитовая стадия минерализации имеет локальное развитие и образует гнездообразные, линзообразные и неправильные по форме тела в приконтактной полосе кварцевых диоритов и метаморфических сланцев. Вмещающими породами этих руд являются сильно измененные, окварцованные, частично скарнированные кварцевые диориты и мраморизованные известняки.

Медно-мышьяковые руды характеризуются большим разнообразием минерального состава. Здесь Г. О. Пиджяном (1960<sub>2</sub>) были установлены микроскопические выделения акцессорных германита и реньерита, а также висмутин, самородное золото. Позже в этих и в полиметаллических рудах А. И. Карапетяном (1961<sub>4</sub>, 1963<sub>1</sub>) была установлена парагенетическая ассоциация теллуридов, представленная сильванитом, калаверитом, петцитом, гесситом, теллурувисмутитом, алтанитом, нагиагитом, а также аргентитом, виттихенитом, эмплектитом и другими минералами.

Из редких и благородных элементов в рудах различных стадий минерализации установлены рений, селен, теллур, висмут, германий, золото, серебро и др.

Содержание рения в молибденитовых концентратах, в зависимости от содержания в них молибдена, колеблется от 0,004 до 0,056%. По данным Н. С. Хачатряна и Б. Д. Акопян, среднее содержание рения в 57 пробах молибденитового концентрата составляет 0,02%, при среднем содержании Мо—39,44%. В мономинеральных фракциях молибденита содержание рения колеблется в пределах 0,015—0,034% и в среднем, по данным Г. О. Пиджяна, составляет 0,022%. Кроме рения, в молибденитовых концентратах, по данным А. И. Карапетяна, присутствуют также селен, в количестве в среднем 170 г/т, теллур—26 г/т. Сравнительно высокие концентрации селена и теллура были установлены в продуктах энаргит-теннантитовой стадии, где, как было отмечено, присутствуют теллуриды. Наиболее высокое содержание теллура ус-

тановлено в энаргите (0,072%), в этой же пробе содержание селена составляет 0,112%. В теннантите, сфалерите и борните содержание этих элементов значительно ниже (0,01—0,06%).

Руды Анкаванского месторождения интересны также в отношении содержания висмута (табл. 16). Как нетрудно заметить из приведенной таблицы, висмут накапливается в медных концентратах, что хорошо объясняется приуроченностью включений минералов висмута к полям медных минералов (халькопириту). Так, по данным Г. О. Пиджяна и А. И. Карапетяна, содержание висмута достигает: в молибденитах 0,01, в халькопиритах 0,3, пиритах 0,003, сфалеритах 0,03, галенитах 0,1, в теннантитах и энаргитах 0,3%.

Наиболее богаты висмутом медно-мышьяковые руды. Так, окварцованные породы, содержащие медно-мышьяковое оруденение, в полосе скарнов содержат висмут от следов до 0,1% (по данным 20 проб). Химическими анализами в пробах, взятых из шурфов 663 и 659, установлен висмут в среднем 0,057% (по А. М. Аветисяну и др.). Здесь же были установлены наибольшие скопления собственных минералов висмута — висмутина, виттихенита, эмплектита, тетрадимита, теллуровисмутита.

Таблица 16

Содержание висмута в различных продуктах обогащения руд месторождения (по С. С. Акмаевой)

Наименование пробы	Содержание, %		
	Bi	Mo	Cu
Молибденитовый концентрат	0,0032	33,79	0,72
Халькопиритовый концентрат	0,0150	0,05	20,50
Коллективный концентрат	0,0143	1,70	18,70
Халькопирит-молибденитовая руда	0,00075	0,06	0,70

Германий в рудах Анкаванского месторождения имеет неравномерное распределение. Его наиболее высокие концентрации (1500—8000 усл. ед.) установлены в энаргите и теннантите (табл. 17). Здесь же были установлены аксессуарные германит и реньерит. Сравнительно обогащены германием и другие минералы энаргит-теннантитовой стадии (халькопирит—300 усл. ед., борнит—30 усл. ед.). В жильном кварце содержание германия иногда достигает 6 усл. ед. Повышенные содержания германия были установлены также в магнетите (10—30 усл. ед.), гематите (5—30 усл. ед.) и в гранатах. Присутствие германия в различных силикатах

Таблица 17

Содержание редких и благородных элементов в рудных минералах Анкаванского медно-молибденового месторождения  
(по данным Л. П. Карапетяна и Г. О. Илджяна)

Минералы	Э л е м е н т ы, ‰								
	Re	Se	Te	Ві	Ga	Ge (усл. ед.)	In	Au	Ag
Пирит	0,0001	0,004— 0,0192	0,0016—0,012	0,001—0,003	Не обн.— 0,003	До 2	—	Не обн.— 0,003	0,0003— 0,001
Халькопирит	До 0,0002	0,026	0,001	0,003—0,3	0,0003	3—3,0	—	0,003—0,01	0,01
Молибденит	0,015—0,034	0,04	0,0016—0,017	0,001—0,1	—	1	—	—	—
Энаргит	—	0,112	0,072	0,03—0,3	0,001—0,003	До 8000	Не обн.	0,003—0,1	0,01—0,03
Теннантит	—	0,06	—	0,03—0,3	0,0003	До 1500	—	0,003	0,03—0,1
Галенит	—	—	—	0,01—0,1	—	—	—	—	0,01
Сфалерит	—	—	0,11	0,003	0,001	3	0,003	—	—
Халькозин	—	—	—	0,01	—	—	—	—	—
Борнит	—	—	0,03	—	0,003—0,01	10—30	—	0,01—0,03	0,03
Магнетит	—	—	—	—	—	3—30	—	Не обн.— 0,001	0,0003
Малахит	—	—	—	—	—	—	0,001	—	—
Азурит	—	—	—	—	—	1—3	—	—	—
Лимонит	—	—	—	—	0,003	До 100	—	—	0,0003— 0,001

значительно осложняет, а иногда и маскирует существующую зависимость между германием и мышьяком.

Детально был изучен также характер распределения благородных металлов — золота и серебра. А. И. Карапетяном (1961<sub>3</sub>) установлено, что наиболее высокие содержания золота и серебра приурочены к поздним (медно-мышьяковой и полиметаллической) стадиям минерализации, в которых, кроме самородного «крупнодисперсного» золота, присутствуют также тонкодисперсное золото и ряд теллуридов золота (петцит, сильванит, калаверит), которые ассоциируются с теллуридами серебра, висмута и свинца. В самородном золоте спектральным анализом установлены: Ag—10—15%, Cu, Fe—до 1%, Pb—0,1%, Te, Hg—до 0,01%, Bi до 0,001%. Максимальная сумма примесей, входящих в состав самородного золота вместе с серебром, не превышает 15—20%, что свидетельствует о сравнительно высокой (не ниже 800) пробе его.

Многочисленные анализы показывают, что соотношение серебра и золота в рудах Анкаванского месторождения колеблется в пределах от 1:1 до 30:1, изредка золото превалирует над серебром, что свидетельствует о сравнительно повышенной роли золота в рудоносных растворах.

## 5. Джиндаринское месторождение

Месторождение расположено в Мегринском районе, по обе стороны ручья Джиндара.

В рудном поле месторождения выделяются следующие участки: Джиндаринский, Алагюнейский, Мегригетский, Шорджурский и др., среди которых наиболее интересными являются первые два.

В геологическом строении месторождения принимают участие кварцевые диориты, монцониты, сиенито-диориты, порфириовидные гранодиориты, гранодиорит-порфиры и их измененные разности.

Собственно Джиндаринский участок и его южное продолжение — участок Алагюней приурочены к эндоконтактной полосе порфириовидных гранодиоритов с монцонитами. Рудовмещающими породами месторождения являются гранодиорит-порфиры, которые представляют краевую фацию интрузии порфириовидных гранодиоритов (К. А. Карамян, 1959).

К основным структурным элементам относятся Дебаклинский разлом со своими западной и восточной ветвями северо-западного простирания и оперяющие их трещины близ-

## Содержание редких элементов в некоторых продуктах руд месторождения

Наименование пробы *	Кол-во анализов	Содержание элементов, % **					
		Mo	Gu	Re	Se	Te	Ge
Халькопирит	2	—	—	—	$\frac{0,026}{0,002-0,032}$	$\frac{0,0025}{0,002-0,003}$	До 0,001
Молибденит	2	—	—	$\frac{0,08}{0,07-0,09}$	$\frac{0,0375}{0,03-0,045}$	$\frac{0,0035}{0,002-0,005}$	$\frac{0,0002}{0,0001-0,0003}$
Пирит	1	—	—	—	0,005	0,002	—
Молибденовый концентрат	10	25,6	—	$\frac{0,0475}{0,025-0,0845}$	$\frac{0,0087}{0,007-0,015}$	$\frac{0,0032}{0,001-0,007}$	—
Медный концентрат	67	0,1	19,8	До 0,0002	$\frac{0,0114}{\text{Сл.}-0,014}$	$\frac{0,004}{\text{Сл.}-0,0116}$	$\frac{0,00014}{\text{Сл.}-0,0004}$
Пиритовый концентрат	12	—	—	—	$\frac{0,0056}{\text{Сл.}-0,011}$	$\frac{0,0035}{0,0016-0,014}$	—
Борнит	1	—	—	—	0,047	—	—
Медная руда	5	—	0,67	—	—	—	$\frac{0,0002}{0,00018-0,00023}$

\* Данные по халькопириту, молибдениту и пириту, по Г. О. Пиджяну, остальные — по Н. С. Хачатрян и Б. Д. Акмян,

\*\* В числителе указано среднее содержание, в знаменателе — пределы содержаний.

широтного направления. К последним приурочено основное промышленное оруденение месторождения.

Оруденение представлено прожилково-вкрапленным типом, в основном медное с незначительной примесью молибдена. Формирование руд, согласно К. А. Карамяну (1959) и Г. О. Пиджяну, происходило в шесть стадий минерализации, из которых основными являются первые две: кварц-борнит-халькопиритовая (промышленная) и кварц-молибденитовая. Главными минералами руд являются халькопирит, борнит, пирит, местами молибденит; второстепенные — ковеллин, халькозин, галенит, сфалерит, медно-висмутовые сульфосоли и др.

Минералого-геохимические особенности руд изучались Г. О. Пиджяном, Н. С. Хачатряном и Б. Д. Акопян, которые установили, что руды месторождения характеризуются повышенными содержаниями рения, селена, теллура и иногда германия (табл. 18).

На основании анализа данных химических определений Н. С. Хачатрян и Б. Д. Акопян приходят к выводу о существовании прямой корреляционной связи между содержанием селена и меди, а также теллура и меди.

Спектральными анализами установлены повышенные содержания висмута во всех проанализированных пробах халькопирита. Содержание висмута в халькопиритах колеблется в пределах 0,003—0,03%. В некоторых пробах медных концентратов содержание висмута достигает 0,01%, а индия (по 6 пробам) — менее 2,5 г/т (данные Н. С. Хачатряна и Б. Д. Акопян).

Серебро отмечается во всех пробах халькопиритов (~ 0,03%, редко 0,1—1%), в пиритах (0,001—0,01%) и в молибденитах (0,001%). В одной пробе халькопирита, по данным Г. О. Пиджяна, спектральным анализом установлено 0,001—0,003% золота.

Редкие элементы: селен, теллур, висмут, германий и благородные металлы (золото и серебро) накапливаются в медных концентратах.

## 6. Айгедзорское месторождение

Месторождение расположено в Мегринском районе и состоит из двух обособленных участков: Центрального и Марал-зами.

В геологическом строении принимают участие тоналиты, порфириовидные гранодиориты, кварцевые диориты и габбро-диориты. На Центральном участке среднезернистые гранодиориты слабо гидротермально изменены и содержат

Содержание редких элементов в некоторых продуктах руд месторождения

Наименование пробы, место взятия	Кол-во анализов	Содержание элементов, ‰						Автор	
		Mo	Рений		Селен		Теллур		
			от—до	сред- нее	от—до	сред- нее	от—до		сред- нее
Молибденорый концентрат	15	50,0	0,07—0,12	0,096	—	—	—	—	Г. И. Гольденберг Г. О. Пиджян
Молибденит	3	—	0,116—0,165	0,136	0,04—0,06	0,049	0,002—0,005	0,0035	
Молибденорый концентрат	32	40,77	До 0,1174	0,0583	0,0046—0,033	0,011	Сл.—0,0060	0,0034	Н. С. Хачатрян, Б. Д. Акопян
Медный концентрат (Cu—23,27‰)	6	—	—	—	0,023—0,043	0,0325	Сл.—0,0030	0,0012	
Пиритовый концентрат	2	—	—	—	—	0,0325	—	0,0038	
Молибденит (Центр. уч.)	6	57,03	0,075—0,124	0,0928	—	—	—	—	А. С. Фарамазян
Молибденит (Марал-зама)	2	53,0	0,038—0,043	0,0405	—	—	—	—	
Молибденорый концентрат	1	40,2	0,044	0,044	—	—	—	—	
Пирит	1	0,006	0,0004	0,0004	—	—	—	—	
Халькопирит	1	0,07	0,0003	0,0003	—	—	—	—	

очень убогое оруденение меди и молибдена. Основное оруденение представлено кварцево-рудными жилами, мощность которых колеблется от нескольких сантиметров до 1,5 м. Сульфиды в жилах представлены молибденитом, халькопиритом, пиритом и реже висмутином, сфалеритом, галенитом и др., редко встречаются мельчайшие включения самородного золота. Содержание металлов, по данным разведки, следующее:  $Cu—0,11—0,55\%$ ,  $Mo—0,23—1,04\%$ ,  $Re—0,0005—0,0015\%$ .

Гидротермальный этап формирования месторождения расчленяют на ряд последовательных стадий минерализации, развитие которых происходило при постепенном падении температуры (А. И. Карапетян, Г. И. Гольденберг, 1959).

На участке Марал-зами оруденение представлено штоковерковым типом руд. Последний сопровождается пиритизацией и окварцеванием вмещающих гранодиоритов. Среднее содержание металлов  $Cu—0,24\%$ ,  $Mo—0,04\%$ ,  $Re—0,00005—0,0001\%$ .

Редкие элементы месторождения изучали Г. О. Пиджян, Г. И. Гольденберг и др., Н. С. Хачатрян и Б. Д. Акопян, А. С. Фарамазян. В табл. 19 приводятся содержания редких элементов в сульфидах и концентратах руд.

Наиболее высокими содержаниями рения характеризуются молибдениты Центрального участка, где они представлены преимущественно крупночешуйчатыми разностями в кварц-молибденитовых жилах. Высокие содержания рения приурочены к халькопиритам и пиритам. Среднее содержание рения в пересчете на молибденит ( $Mo—60\%$ ), по данным приведенных результатов разных исследователей (55 анализов), составляет  $\sim 0,106\%$ .

Из других элементов в качестве примесей в рудах присутствуют  $Ge$ ,  $Cd$ ,  $In$ ,  $Bi$ ,  $Ag$  и  $Au$ . В молибдените установлено:  $Ge—0,0002—0,0004$ ,  $Ag—0,003\%$ ; в халькопирите:  $Ge—0,0007—0,001$ ,  $Bi—0,001—0,03$ ,  $In—0,01\%$ ; в пирите  $Bi—0,001$ ,  $Ag—0,003—0,01\%$ ; в сфалерите  $Ag—0,01$ ,  $Cd—1—3$ ,  $In—0,003$  и  $Bi—0,02\%$  (данные Г. О. Пиджяна). Анализы на золото не производились, однако в рудах установлены выделения самородного золота.

Из приведенных материалов исследований следует, что руды Айгедзорского месторождения могут представить, кроме молибдена и меди, интерес в отношении рения, селена, теллура, висмута, серебра и золота.

## 7. Капуджухское проявление

Проявление находится к западу от Каджарана, на обрывистом склоне г. Капуджух. Оно открыто И. Г. Магакьяном в 1946 г. Участок сложен банатитами и прорывающими их порфиридовидными гранитами. Среди гидротермально измененных банатитов залегает ряд кварцево-рудных жил северо-западного простирания мощностью от 0,2—0,3 до 1,5—2,0 м. Жилы в основном молибденитовые с пиритом и, реже, халькопиритом. Содержание молибдена в них достигает 0,1—0,2%, а меди —2—3%. Установлены также зоны прожилково-вкрапленной минерализации. В 0,5 км к югу от описанного участка в 1961—1962 гг. М. М. Айрапетяном обнаружен ряд полиметаллических жил и прожилковых зон с минерализацией галенита, сфалерита, пирита и халькопирита.

В табл. 20 приводятся содержания редких элементов в сульфидах по данным химических анализов.

Таблица 20

Содержание редких элементов в сульфидах (по А. С. Фарамазяну)

Минералы	Кол-во проб	Среднее содержание, ‰		
		Re	Se	Te
Молибденит	3	0,045	0,035	0,003
Халькопирит	2	—	0,018	0,006
Пирит	2	—	0,009	0,0006
Галенит	1	—	0,024	0,005

По данным А. С. Фарамазяна, спектральными анализами в халькопирите обнаружено: Bi—0,03—0,1, Ag—0,003—0,01 ‰; в галените—Ag—0,01—0,03, Bi—0,001, Cd~0,01 и Te—0,03 ‰.

Наличие высоких содержаний теллура в составе полиметаллических руд подтверждается обнаружением в полированных шлифах мелких включений теллуридов золота и серебра: гессита, петцита и др. В связи с этим на участке полиметаллических руд следует провести поисковые работы на золото и серебро.

## 8. Вардениское проявление

Проявление расположено в верховьях р. Ехегис, на южном склоне Вардениского хребта. В геологическом строе-

нии участка, по данным первооткрывателя проявления А. А. Асатрян, принимают участие эоценовые порфириды, миоценовые туффиты и туфобрекчии, четвертичные базальты и послеоценовые интрузии гранитоидного состава.

По данным Варденисской ПРП, оруденение приурочено к зонам раздробленных, гидротермально измененных гранодиорит-порфиров и среднеэоценовых порфиритов, представлено прожилково-вкрапленными зонами с низким содержанием молибдена (в среднем 0,01—0,02%) и весьма незначительной ролью меди.

По данным А. Г. Акопяна, оруденение здесь близповерхностное, генетически связано с субвулканическими андезитами и андезито-дацитами миоцен-плиоценового возраста.

Изучение редких элементов показало, что наибольший интерес представляет рений. Согласно приведенным в таблице 21 данным, содержание рения в рудах проявления достигает концентраций необычно высоких. Из приведенных результатов следует также, что хотя наиболее высокие содержания рения связаны с молибденитами, тем не менее корреляционной зависимости между рением и молибденом не наблюдается. Наоборот, в некоторых пробах содержание рения выше, чем молибдена. В связи с этим предположение И. Г. Магакьяна о наличии здесь самостоятельного минерала рения или особо обогащенной рением разновидности молибдена представляется достаточно обоснованным.

Из других редких элементов химическими анализами были определены селен и теллур. По Н. С. Хачатрян и Б. Д. Акопян, в молибденовом концентрате при среднем содержании 20% молибдена (две пробы) содержание селена составило 0,0119%, а теллура — 0,0022%. Содержание селена и теллура в молибдените соответственно составляет 0,046% и 0,003% (А. С. Фарамазян, Э. Х. Хуршудян, 1963). Содержание селена и теллура в пиритовых концентратах (Fe—42,36%) составляет в среднем по 5 пробам соответственно 0,0084 и 0,0012% (данные Н. С. Хачатряна и Б. Д. Акопян).

## 9. Прошибердское проявление

Проявление расположено в верховьях р. Вернашен.

В геологическом строении проявления принимают участие туффиты и туфопесчаники среднего эоцена, прорванные штоком гранодиоритов и дайками гранодиорит-порфиров. Минерализация представлена маломощными (до 0,3 м) сульфидными жилами и сопровождающими их прожилковыми зонами. Главные рудообразующие минералы представле-

Таблица 21

Содержание молибдена и рения в штуфах и молибденовых концентратах

Наименование и место взятия пробы	Содержание, ‰		Отношение Mo:Re	Автор
	Mo	Re		
<b>Центральный участок</b>				
Штуф	0,004	0,019	1:5	} А. Г. Акопян
Штуф	0,007	0,019	1:3	
Штуф	0,02	0,034	1:1,7	
Штуф	0,12	0,004	30:1	} И. Г. Магакян
Штуф	0,52	0,007	74:1	
Молибденовый концентрат	6,0	0,02	300:1	} Н. С. Хачатрян и Б. Д. Акопян
Молибденовый концентрат	12,5	0,255	49:1	
Молибденовый концентрат	20,0	0,94	31:1	
Молибденит	58,34	1,88	31:1	А. С. Фарамазян
<b>Юго-западный участок</b>				
Штуф	0,009	0,0005	180:1	} А. Г. Акопян
Штуф	0,01	0,0002	50:1	
Штуф	0,01	0,0001	100:1	

ны пиритом, молибденитом, галенитом и сфалеритом, второстепенные — халькопиритом и сульфосолями.

Из приведенных анализов проб обогащенной руды, молибденитов и пиритов (табл. 22) следует, что молибдениты

Таблица 22

Содержание молибдена и рения в некоторых пробах проявления (по А. С. Фарамазяну)

Наименование пробы и место взятия	Содержание, ‰		Отношение Mo:Re
	Mo	Re	
<b>Проба 1 (шт. 4, жила)</b>			
Обогащенная руда	1,78	0,016	111:1
Молибденит	57,34	0,47	122:1
Пирит	0,06	0,0007	86:1
<b>Проба 2 (шт. 4, прожилково-вкрапленная зона)</b>			
Обогащенная руда	0,88	0,012	73:1
Молибденит	56,12	0,39	144:1
Пирит	0,03	0,0003	100:1

рудопроявления являются основными носителями рения, содержание которого в них достигает 0,47%. Низкие содержания рения, отмеченные в пиритах, связаны главным образом с механической примесью молибденита.

Из других редких элементов-примесей химическими анализами были определены селен и теллур, в молибдените среднее содержание селена по двум пробам составляет 0,036%, а теллура — 0,004%, в пирите — Se—0,006, Te—0,004%.

## 10. Элпинское проявление

Проявление расположено на южном склоне Варденисского хребта.

По данным А. А. Асатряна, район проявления сложен вулканогенно-осадочными породами, которые прорываются интрузией гранодиорит-порфира. Рудовмещающие породы представлены порфиритами. Морфологически оруденение представлено зоной прожилково-вкрапленных руд, в минеральном составе которых участвуют молибденит, халькопирит, пирит, гематит, магнетит и реже, галенит и сфалерит. Содержание молибдена низкое: обычно от следов до 0,02%, редко повышается до 0,04—0,06%.

Работами А. С. Фарамазяна установлены высокие содержания рения, которые приурочены главным образом к молибденитам (табл. 23).

Таблица 23

Содержание молибдена и рения в некоторых пробах проявления

Наименование пробы и место взятия	Содержание, ‰		Отношение Mo:Re
	Mo	Re	
<b>Проба № 1, шт. 2</b>			
Обогащенная руда	0,103	0,00041	251:1
Молибденовый концентрат	10,44	0,014	237:1
<b>Проба № 2, расч. 1</b>			
Обогащенная руда	0,40	0,0045	90:1
Молибденовый концентрат	18,22	0,16	113:1
Молибденит	58,42	0,45	130:1
Пирит	0,04	0,0005	80:1

Следует отметить, что молибденовая минерализация была отмечена также на Газминском полиметаллическом месторождении, где молибденит встречается в виде примазок и тонких прожилков. По данным Н. С. Хачатряна и Б. Д. Акопян, химическим анализом в молибденовом концентрате (Mo—43,5%) рений установлен в количестве 0,5%, а селен—0,0016%. В пересчете на чистый молибденит (Mo—60%) содержание рения составит ~0,7%, а селена—0,02%.

Молибдениты проявлений Айюцзорского рудного района (Варденис, Прошиберд, Элпин, Газма) были изучены также посредством рентгеноструктурных анализов. Исследования показали, что эти молибдениты принадлежат к сравнительно низкотемпературной, ромбоэдрической модификации — политипу 3R или смеси 3R и 2H при преобладании 3R над политипом 2H (А. С. Фарамазян, Э. Х. Хуршудян, 1963). Дальнейшие исследования молибденитов из различных генетических типов молибденовых месторождений показали, что ромбоэдрический политип 3R, в отличие от гексагонального 2H, характерен для медно-молибденовой формации руд и особенно для тех месторождений, образование которых происходит в сравнительно низкотемпературных условиях. Именно этим обусловлено такое широкое распространение молибденита 3R в молибденовых проявлениях Айюцзорского рудного района (Э. Х. Хуршудян, 1966).

Обобщая результаты исследований молибденовых проявлений Айюцзорского рудного района, можно сделать следующие выводы:

а) молибдениты изученных проявлений принадлежат к политипу 3R или 3R+2H с преобладанием 3R над 2H, что обусловлено сравнительно низкотемпературными условиями их образования;

б) основным минералом-концентратором рения в рудах является молибденит. Содержания рения в молибденитах района колеблются в пределах от десятых долей до целых процентов;

в) между содержаниями рения и молибдена обычно наблюдается зависимость. Исключение составляют руды Центрального участка Варденисского проявления, где содержание рения в отдельных пробах в несколько раз превышает содержание молибдена. Такие соотношения молибдена и рения позволили И. Г. Магакьяну предположить возможность наличия в этих рудах самостоятельных минералов рения.

## 11. Техутское проявление

Проявление находится в эндо- и экзоконтактной зоне Кожского интрузивного массива кварцевого диорита предсеноманского возраста. На участке обнажаются гидротермально измененные окварцованные пиритизированные, серицитизированные интрузивные породы и порфириды, содержащие сульфидное оруденение в виде вкрапленников и тонких прожилков халькопирита и молибденита. В небольших по простиранию оруденелых зонах, по данным геолого-разведочной партии, содержание меди колеблется от следов до 0,43%, а молибдена — от следов до 0,13%.

По данным Н. С. Хачатряна и Б. Д. Акоюн, в пиритах установлено в среднем по 8 пробам селена — 20 г/т и теллура — 14 г/т. В медном концентрате (Cu—5%) содержание селена составляет 50 г/т, теллура — следы. В молибденовом концентрате (Mo—19,16%) установлено: селена—16 г/т, теллура—16 г/т и рения—76 г/т.

В 1963 г. проявление было осмотрено Г. О. Пиджяном и А. С. Фарамазяном, по данным которых в обогащенной молибденом пробе (Mo—19,75%) установлено рения—0,02%, а в молибденовом концентрате (Mo—32,93%)—0,04% при пересчете на чистый молибденит (Mo—60%) содержание рения составляет 0,073%. Перспективы проявления ограничены.

\* \* \*

Многолетними исследованиями геохимических особенностей медно-молибденовой формации руд установлены повышенные концентрации рения, селена, теллура, германия, индия, висмута, кадмия, золота и серебра, особенности распределения которых приводятся ниже.

Селен является одним из характерных рассеянных элементов руд. Наиболее высокие содержания отмечают в молибденитах кварц-молибденит-халькопиритовой (до 0,128%), галените кварц-сфалерит-галенитовой (до 0,055%) и халькопирите кварц-молибденит-халькопиритовой (до 0,048%) стадий минерализации Каджаранского месторождения. Обычные содержания селена в молибденитах составляют  $3-4 \cdot 10^{-2}\%$ , в халькопиритах  $1-2 \cdot 10^{-2}\%$ , в пиритах  $8-10 \cdot 10^{-3}\%$  и галенитах  $2-5 \cdot 10^{-3}\%$ .

В других месторождениях содержания селена по тем же минералам обычно несколько ниже. Исключение составляют халькопирит и энаргит из Анкаванского месторождения, где установлено до 0,12% селена. Селен в рудах рассеян в виде изоморфной примеси в сульфидах.

Хотя наиболее высокие содержания селена приурочены к молибденитам, тем не менее большая часть его концентраций сосредоточена в халькопирите и несколько меньше в пирите, так как количество последних в рудах наиболее крупных месторождений (Каджаран, Агарак, Дастакерт) приблизительно в 15—30 раз больше, чем молибденита.

Теллур содержится в молибдените, халькопирите, пирите и других сульфидах руд, обычно в количестве 0,001—0,01%. Высокие содержания установлены в галените и тетраэдрите (соответственно 0,18 и 0,19%) кварц-сфалерит-галенитовой стадии минерализации Каджаранского месторождения; энаргите, теннантите и борните (0,07—0,1%) Анкаванского месторождения. Обычно повышенные содержания теллура (более 0,01%) указывают на наличие теллуридов.

Промышленные концентрации теллура приурочены к халькопириту и молибдениту, где его содержания варьируют в пределах 30—100 г/т. Большая часть рассеянного в рудах теллура сосредоточена в халькопиритах и пиритах и при флотации в основном (до 90%) переходит в медный концентрат.

Теллур распространен в виде примеси в сульфидах и самостоятельных минералов—теллуридов, образующихся главным образом в поздних стадиях минерализации (полиметаллическая, медно-мышьяковая).

Рений является очень характерным элементом руд и связан преимущественно с молибденитом, в котором обычно содержится 300—400 г/т. Высокие содержания рения отмечаются в молибденитах Айгедзорского (до 0,165%), Каджаранского (до 0,243%) и Джиндаринского (до 0,085%) месторождений. Необычно высокие содержания рения (0,39—1,88%) установлены в молибденитах Айоцзорского рудного района (Варденис, Прошиберд, Элпин и др.). Низкие содержания рения (до 2,0 г/т) отмечаются в халькопирите, пирите, энаргите, борните и других сульфидах.

Собственных минералов рения не установлено, однако имеются предпосылки для их поисков в рудах некоторых рудопроявлений и, возможно, в медных рудах.

Германий содержится в количестве от 1,0 до 70 г/т в халькопирите, борните, молибдените и других сульфидах. Повышенные содержания связаны с энаргитом и теннантитом, в которых устанавливаются мельчайшие включения аксессуарных реньерита и германита.

Галлий установлен в низких содержаниях в халькопирите (до 0,005%), сфалерите (до 0,01%) и для этой формации руд не характерен.

Кадмий. Наиболее высокие содержания кадмия уста-

новлены в сфалеритах (0,1—1,0%); в других сульфидах — халькопирите, галените содержание кадмия составляет 0,005—0,03%. В количественном отношении большая часть рассеянного в рудах кадмия связана с халькопиритом и накапливается в медных концентратах (25—40 г/т).

Индий является характерным элементом медных и полиметаллических руд. Наиболее высокие содержания индия отмечаются в сфалеритах (10—30 г/т, редко до 100 г/т), тетраэдрите (до 300 г/т), галените (до 10 г/т) Каджаранского месторождения. В халькопирите содержание индия достигает 6,0 г/т. Собственных минералов индия в рудах не установлено. Повышенные концентрации индия установлены в медных концентратах (в среднем 4,0 г/т).

Таллий — нехарактерный элемент руд. Установлен только в отдельных пробах халькопирита в количестве до 5 г/т.

Висмут является одним из широко распространенных элементов руд, наиболее высокие концентрации которого связаны с рудами медьсодержащих стадий минерализации.

Самые высокие содержания висмута установлены в халькопиритах (в среднем 0,02%) и галенитах (0,03—0,1%), в которых отмечаются мельчайшие выделения висмутита, галеновисмутита, эмплектита, виттихенита и других минералов висмута. В молибденитах и молибденовых концентратах установлены также высокие содержания висмута (110—290 г/т).

Золото и серебро являются характерными элементами руд; наиболее высокие содержания образуют в рудах кварц-сфалерит-галенитовой и кварц-халькопиритовой стадий рудообразования, где устанавливаются минералы этих элементов. Содержание золота и серебра в отдельных пробах, где отмечаются мелкие включения теллуридов, следующие: галените Au—41,79, Ag—154,6 г/т; свинцовом концентрате Au—19,4, Ag—86,13 г/т; цинковом концентрате Au—8,75, Ag—32,75 г/т. Несмотря на это, основные концентрации золота и серебра связаны с халькопиритом главных стадий минерализации (Au до 2,4 г/т, Ag—до 91,1 г/т). В халькопирите золото и серебро находятся преимущественно в виде субмикроскопической примеси. При процессах флотации оба элемента накапливаются в медные концентраты (Au—1,0—2,5, Ag—40—70 г/т).

Таким образом, для медно-молибденовой формации руд характерен следующий комплекс редких и благородных элементов: рений, селен, теллур, висмут, золото и серебро, для отдельных месторождений—также, индий, германий и кадмий.

## Б. КОЛЧЕДАННАЯ ФОРМАЦИЯ

Месторождения колчеданной формации развиты в пределах Алаверди-Кафанской и отчасти Севано-Амасийской структурно-металлогенических зон и объединяются в три основные группы: Алавердскую, Кафанскую и Тандзут-Чибухлинскую. В первые две группы входят наиболее крупные медные и колчеданно-полиметаллические месторождения северной и юго-восточной частей республики (Шамлуг, Алаверди, Ахтала, Кафан, Шаумян-Халадж), связанные с юрским тектоно-магматическим комплексом. В третью группу объединяются сравнительно небольшие месторождения и проявления серноколчеданных руд (Тандзут, Чибухлы и др.), связанные с эоценовым тектоно-магматическим комплексом.

Оруденение представлено жилами, линзами, прожилково-вкрапленными зонами, развитыми в вулканогенных породах (эффузивы и пирокластические их разновидности) кислого и умеренно-кислого состава. Наблюдается определенная приуроченность колчеданных руд к участкам наиболее интенсивного развития субвулканических интрузий кварцевых порфиров и альбитофиров.

В пределах рудных полей и месторождений рудовмещающие породы в той или иной степени подвергнуты гидротермальным изменениям. Особенно широко развита пропилитизация, которая в пределах различных месторождений проявлена различными минеральными фациями. В целом в пределах колчеданных месторождений проявлены почти все минеральные фации пропилитов и особенно интенсивно кварц-серицитовые, кварц-серицит-хлоритовые и кварц-хлоритовые фации. Сравнительно слабое развитие имеют вторичные кварциты, представленные монокварцевой, диаспоровой, алунитовой, баритовой, пирофиллитовой и серицитовой фациями.

Процесс формирования гидротермально измененных пород и колчеданных руд является длительным и протекает через ряд постепенно сменяющих друг друга стадий минерализации. Во всех месторождениях с той или иной интенсивностью проявлены серноколчеданная, медноколчеданная и полиметаллическая стадии минерализации. Кроме этих стадий, в отдельных месторождениях проявлены также баритовая (Ахтала), медно-мышьяковая (Кафан) стадии минерализации.

Руды колчеданных месторождений Армянской ССР характеризуются большим разнообразием минерального состава. Главные рудные минералы представлены пиритом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом, а в отдельных место-

рождениях также баритом. Подчиненное развитие имеют борнит, халькозин, ковеллин, энаргит, теннантит, галенит, магнетит. Сравнительно редко встречаются люционит, алтаит, теллуру-висмутин, гессит, петцит, висмутит, виттихенит, эмплектит, штроемейрит, яшант, самородное золото, серебро, реньерит, германит, идаит, молибденит и другие минералы.

## 1. Кафанское месторождение

Месторождение расположено на левом берегу р. Вохчи у гор. Кафана и пространственно приурочено к вулканогенным образованиям средней юры.

Морфологически оруденение представлено двумя типами: жильным и прожилково-вкрапленным. Первый тип представлен кварцево-рудными жилами, в основном пирит-халькопиритового состава. Участки прожилково-вкрапленного оруденения представлены сетью кварцево-сульфидных прожилков.

Геология, структура, геохимия и минеральный состав руд месторождения наиболее детально изучены В. Н. Котляром (1938), Р. А. Аракелянцем и Г. О. Пиджяном (1956), С. С. Ванюшиным (1957), Ю. Г. Аветисяном, Ю. А. Лейе (1958), Э. А. Хачатуряном (1958), Б. С. Вартапетяном (1962), А. И. Карапетяном (1962), Р. Н. Зарьяном (1963) и др.

В гипогенном этапе рудообразования отмечаются следующие последовательные стадии минерализации: 1) кварц-пиритовая, 2) пирит-халькопиритовая, 3) халькозин-борнитовая, 4) теннантит-энаргитовая, 5) галенит-сфалеритовая, 6) карбонатная, 7) ангидрит-гипсовая.

В наиболее ранние среднетемпературные стадии выделялись главным образом сульфиды — пирит, халькопирит, борнит, халькозин и др.; в более низкотемпературные — сфалерит, галенит, теннантит, тетраэдрит, теллуриды свинца, висмута, серебра и золота, самородные золото и серебро, кальцит, доломит, анкерит, ангидрит и гипс.

Руды месторождения, наряду с медью, содержат редкие и благородные элементы — золото, серебро, селен, теллур и др.

Наиболее богатыми селеном являются руды среднетемпературной пирит-халькопиритовой, а теллуридом — низкотемпературной галенит-сфалеритовой стадии минерализации (табл. 24, Р. Н. Зарьян, 1963).

## Содержание серы, селена и теллура в штуфных пробах месторождения

Наименование проанализированного материала	Код-во анализ	Среднее содержание, ‰		
		Сера	Селен	Теллур
Штуфная проба кварц-пиритовой стадии	3	12,25	0,0024	0,0005
Штуфная проба пирит-халькопиритовой стадии	4	7,30	0,0065	0,0022
Штуфная проба халькозин-борнитовой стадии	3	5,25	0,0056	0,0014
Штуфная проба теннантит-энаргитовой стадии	2	4,90	0,0051	0,0026
Штуфная проба галенит-сфалеритовой стадии	3	4,20	0,0020	0,0095
Рядовая руда, поступающая на фабрику	3	6,40	0,0017	0,0017

Наиболее богатым селеном и теллуrom является жильный тип оруденения. Содержание селена в жильных рудах варьирует в пределах от  $n \cdot 10^{-3}$  до  $n \cdot 10^{-2}$  ‰, теллура от  $n \cdot 10^{-4}$  до  $n \cdot 10^{-2}$  ‰.

Содержание селена и теллура в рудах прожилково-вкрапленного типа оруденения колеблется от  $n \cdot 10^{-4}$  до  $n \cdot 10^{-3}$  ‰.

Для характеристики геохимической истории селена и теллура в процессах формирования руд весьма показательными являются данные средних содержаний этих элементов в минералах по стадиям минерализации (табл. 25, Р. Н. Зарьян, 1962).

В ходе гидротермального процесса отмечается общая тенденция накопления селена в продуктах пирит-халькопиритовой и халькозин-борнитовой стадий минерализации (см. табл. 25). Сравнительно повышенные содержания теллура характерны для минералов галенит-сфалеритовой стадии.

Содержание селена и теллура в гипергенных минералах варьирует в широких пределах — для селена от следов до 0,0065 ‰ и теллура — от следов до 0,0032 ‰ (халькозин, ковеллин, лимонит, ярозит).

Германий установлен химическими анализами в пирите (до 4 г/т), халькопирите (до 16 г/т), галените (до 1,2 г/т), халькозине (до 7 г/т), энаргите (до 87 г/т), борните (до 22 г/т), алтаите (1,5 г/т), дикките (до 3,2 г/т), кварце (до 2 г/т),

Содержание селена и теллура в главных рудообразующих сульфидах

Стадии минерализации, типы оруденения и минералы	Кол-во анализов	Содержание, ‰	
		Селен	Теллур
Кварц-пиритовая <b>Жильный тип</b>			
Пирит	8	0,0072	0,0033
Халькопирит	4	0,0054	0,0024
Пирит-халькопиритовая <b>А. Жильный тип</b>			
Халькопирит	22	0,0150	0,0096
Пирит	9	0,0160	0,0070
<b>Б. Прожилково-вкрапленный тип</b>			
Халькопирит	13	0,0115	0,0066
Пирит	7	0,0069	0,0018
Халькозин-борнитовая <b>Жильный тип</b>			
Борнит	5	0,0136	0,0095
Халькозин	2	0,0082	0,0085
Халькопирит	4	0,0105	0,0087
Пирит	4	0,0082	0,0070
Теннантит-энаргитовая <b>Жильный тип</b>			
Энаргит	3	0,0126	0,0656
Халькопирит	4	0,0078	0,0046
Пирит	4	0,0075	0,0048
Галенит-сфалеритовая <b>А. Жильный тип</b>			
Сфалерит	5	0,0080	0,1345
Галенит	3	0,0117	0,1453
Алтайт	1	0,3000	32,75
Пирит	4	0,0058	0,0065
Халькопири:	4	0,0040	0,0090
<b>Б. Прожилково-вкрапленный тип</b>			
Сфалерит	1	0,0055	Не обн.

малахите (0,2 г/т) и лимоните (6 г/т) (А. И. Карапетян, 1962; Р. Н. Зарьян, 1963).

На месторождении основная масса германия в виде изоморфной примеси находится в сульфидах, сульфосолях и окислах, а незначительная часть образует самостоятельные минералы — реньерит, германит(?).

Химическими анализами рений и таллий отмечаются в различных минералах месторождения (табл. 26, Р. Н. Зарьян, 1963).

Таблица 26

Содержание таллия и рения в некоторых сульфидах месторождения

Минералы	Кол-во хим. анализов	Среднее содержание таллия, %	Кол-во хим. анализов	Среднее содержание рения, %
Халькопирит	2	0,0006	5	0,0001
Пирит	2	0,0003	1	0,00002
Галенит	1	0,0007	—	—

В медных концентратах обнаруживается рений в пределах от  $7 \cdot 10^{-5}$  до  $1 \cdot 10^{-1} \%$ , а в рядовой руде, поступающей на фабрику—от  $4 \cdot 10^{-5}$  до  $5 \cdot 10^{-5} \%$ .

Основным минералом-носителем галлия, кадмия и индия является сфалерит (табл. 27, Р. Н. Зарьян, 1963).

В разновидностях сфалерита концентрация кадмия, индия и галлия возрастает в ряду: марматит-сфалерит-клеюфан, т. е. содержания указанных редких элементов повышаются с уменьшением концентрации железа. Данные статистической обработки подтверждают наличие в сфалеритах обратной корреляции между содержаниями железа и кадмия (коэффициент корреляции  $-r = -0,88$ ), железа и галлия ( $r = -0,18$ ), железа и индия ( $r = -0,08$ ) и прямой корреляции между концентрациями галлия и кадмия ( $r = +0,64$ ), индия и кадмия ( $r = +0,27$ ), индия и галлия ( $r = +0,06$ ). Наиболее высокая положительная корреляционная зависимость наблюдается между кадмием и галлием, а отрицательная корреляция — между содержаниями железа и кадмия.

Таблица 27

Содержание некоторых редких элементов в сфалеритах месторождения

Разновидности сфалерита	Кол-во хим. анализов	Содержание, %	Содержание элементов, г/т		
		Железо	Кадмий	Индий	Галлий
Клеюфан	4	0,65—1,75	1,4—4,5*	8—120	30—45
Сфалерит	6	5,62—7,43	550—750	50—70	18—26
Марматит	10	8,25—10,5	100—500	3—40	2—15

\* Содержание кадмия в клеюфане дано в %.

Золото обнаружено спектроскопически в халькопиритах и пиритах (10—100 г/т). По данным химических анализов в халькопиритах (Э. А. Хачатурян, 1958) содержание золота колеблется от 3,1 до 12,5 г/т. Серебро устанавливается во всех минералах от 0,0001 до 1,0%. Наиболее высокие содержания висмута установлены в галените 0,1—1,0% и энаргите—0,03—0,05%. В халькопирите, сфалерите, пирите, борните, алтаите и халькозине содержание висмута доходит до 0,01—0,1%. В медных концентратах содержание висмута составляет 48,5, в рудах—7,5, а в хвостах—4,6 г/т (по С. С. Акмаевой).

Из самостоятельных минералов висмута в рудах месторождения встречаются висмутин, тетрадимит, теллуrowисмутит и галеновисмутит (?).

Медные концентраты Кафана представляют определенный интерес в отношении селена и теллура.

## 2. Шамлугское месторождение

Месторождение находится в 9 км к западу от железнодорожной станции Ахтала, у сел. Шамлуг. Оно эксплуатируется со второй половины XVIII века до настоящего времени.

В геологическом строении месторождения принимают участие вулканогенно-осадочные образования среднеюрского (байос-бат) возраста. Самые нижние горизонты месторождения сложены порфиритами дебедчайской свиты, которые сверху согласно перекрываются породами кошабердской свиты (туфы, туфобрекчий андезитовых порфиритов, андези-то-дацитов и реже дацитов). Выше по разрезу залегают породы кератофирового горизонта (кварцевые, бескварцевые кератофиры, их туфы и лавобрекчий), последние с незначительным угловым несогласием перекрываются породами туфо-осадочной серии (туфопесчаники—глинистые, известковистые, туфоконгломераты и др.).

Весь вышеуказанный комплекс пород прорывается субвулканическими телами и дайками альбитофиров, фельзитовых порфиритов, гранодиорит-порфиритов и реже жильными породами основного состава (диабазовые порфириды и др.).

Оруденение на месторождении контролируется литологически благоприятными горизонтами кератофиров и туфобрекчий порфиритов в сочетании с нарушениями близширотного, северо-восточного и, реже, северо-западного простираний. Немаловажную роль, особенно при формировании крупных залежей типа штоков и линз, играли и экранирующие контакты инертных пород—альбитофиров и туфопесчаников.

Рудные тела в верхних горизонтах представлены штоками и линзами; в нижних горизонтах резко возрастает роль жильного типа.

Минеральный состав и геохимические особенности руд изучены В. Г. Грушевым (1935), И. Г. Магакьяном (1947), Н. Я. Монаховым (1947), В. О. Пароникьяном (1964, 1967) и др.

Главными рудными минералами являются пирит и халькопирит, из жильных минералов преобладают кварц, карбонаты, серицит, гипс и ангидрит. В полиметаллических рудах, кроме главных минералов—пирита, халькопирита, сфалерита и галенита, установлены также блеклая руда, борнит, марказит, самородное золото и серебро, станный, аргентит, висмутин, эмплектит, виттихенит и арсенопирит. В медноколчеданных рудах установлены редкие включения тетрадимита и теллуrowисмутита (В. О. Пароникьян, 1964).

На месторождении выделены следующие типы руд: серноколчеданный, медно-серноколчеданный, полиметаллический (с медно-цинковым и полиметаллическим подтипами) и борнитовый (И. Г. Магакьян, 1947; Н. Я. Монахов, 1947; Э. А. Хачатурян). Промышленное значение имеет только второй тип. Эти руды формируются в пределах следующих последовательных стадий минерализации: пиритовой, пирит-халькопиритовой, полиметаллической, баритовой, карбонатной и ангидрит-гипсовой.

Содержание благородных металлов в отработанных рудных телах верхнего горизонта месторождения составили: Ag—12,0, Au—0,7 г/т (Н. Я. Монахов, 1947). Рядовые руды, поступающие в настоящее время на Алавердский меднохимический комбинат, содержат Ag—2,85 и Au—0,17 г/т, при содержании меди ~ 2,0%.

По данным шести среднемесячных проб в этих же рудах присутствуют: Se—0,00215, Te—0,0014, In—0,00027, Tl—0,00015% (Э. Г. Буниатян). Установленные в рудах месторождения содержания редких элементов (М. Л. Лачинян) близки к вышеуказанным данным: Se—0,00225, Te—0,00093, Ga—0,000725, In—0,000126, Bi—0,00182 и Tl—0,000135%.

Содержание благородных металлов возрастает в полиметаллических (в богатой руде установлены Au—4,20 и Ag—163,0 г/т) и особенно в борнитовых рудах. Содержание серебра в последнем типе руд достигает 2,8—3,0% (И. Г. Магакьян, 1947). Распределение редких элементов в главных рудных минералах и по стадиям минерализации приведены в табл. 28 (данные В. О. Пароникьяна, 1967).

Для минералов главной, пирит-халькопиритовой стадии минерализации характерными являются Ag, Se и Te. В рудах

Распределение редких элементов в сульфидах месторождения

Название минералов	Стадии минерализации	Среднее содержание элементов							
		Au (г/т)	Ag (г/т)	Se (‰)	Te (‰)	Bi (‰)	Ge (‰)	Ga (‰)	Cd (‰)
Пирит	Пиритовая	Не обн.	2,90,011	Не обн.	Не обн.	—	—	—	—
Пирит	Пирит-халькопиритовая	0,025	6,90,008	0,0044	0,0001	—	—	—	—
Пирит	Полиметаллическая	—	50,00,0053	0,0027	0,0005	—	—	—	—
Халькопирит	Пирит-халькопиритовая	0,2	12,60,0052	0,0046	0,0010	0,00005	—	—	—
Халькопирит	Полиметаллическая	0,8	45,00,0027	0,0007	0,0010	—	—	—	—
Сфалерит	Полиметаллическая	0,66	20,20,0033	Не обн.	0,0007	0,00187	0,0030	0,3	0,0005
Галенит	Полиметаллическая	Не обн.	219,20,011	0,0075	0,0020	—	—	—	—
Блеклая руда	Полиметаллическая	20,0	3000,0	—	—	0,0003	0,001	—	—

полиметаллической стадии заметно возрастает содержание Ag, Au, Bi, Ge, Ga. Высокие концентрации Ag, Se, Te и Bi приурочены к галениту и блеклой руде. Сфалериты этой стадии минерализации характеризуются низкими содержаниями Se, Te, но повышенными содержаниями Ge, Ga и In, причем, как показывает аналитический материал, содержание германия в сфалерите возрастает от руд пирит-халькопиритовой стадии через медно-цинковую ассоциацию к полиметаллической, что соответствует падению температуры рудообразования в этом направлении.

### 3. Алавердское месторождение

Месторождение расположено в 3 км к северу от гор. Алаверди. Оно разрабатывалось с перерывами до 1944 г. С 1955 г. на месторождении ведутся детальные геолого-разведочные работы, в результате которых значительно расширены его перспективы.

В геологическом строении месторождения принимают участие «нижние» порфириды (дебедчайская свита), согласно перекрывающиеся туфобрекчиями порфиритов кошабердской свиты (байос). Эти образования в свою очередь перекрываются вулканогенно-обломочными, пирокластическими («агломераты») породами с подчиненной ролью кварцевых плагиопорфироз, которые параллелизуются с кератофировым горизонтом рудного района. Широко развиты породы жильного комплекса, главным образом основного (диабазовые, микролитовые и афанитовые порфириды) и, реже, кислого (альбитофиры) составов.

Месторождение, по В. Г. Грушевому, приурочено к западному крылу Дебедского брахиантиклинального поднятия. Основной рудоконтролирующей структурой является меридиональный разлом, который прослеживается на расстоянии 3 км и сопровождается полосой гидротермально измененных пород. Пространственно более интенсивное оруденение (штоки, линзы) тяготеет к комплексу пирокластических пород, примыкая к контакту вулканических брекчий порфирита (Б. С. Вартапетян, С. С. Ванюшин, С. С. Мкртчян, С. А. Мовсисян, 1967; Э. М. Налбандян, В. О. Пароникян, 1966).

Перспективы месторождения в основном связаны с жильково-вкрапленным типом оруденения, выявленным на западном фланге Центрального участка месторождения.

На месторождении выявлены следующие типы руд: серноколчеданный, медно-серноколчеданный и полиметаллический. Последний имеет небольшое распространение и разви-

Таблица 29

Содержание редких элементов в главных рудообразующих сульфидах месторождения

Название минералов	Ассоциация	Кол-во проб	Среднее содержание, ‰							
			Ag	Bi	Ge	Ga	In	Cd	Se	Te
Пирит	Пирит-халькопиритовая	6	0,0004	0,0050	—	0,00015	—	—	0,009	0,014
Халькопирит	Пирит халькопиритовая	7	0,0015	0,0001	—	—	—	—	0,0127	0,012
Пирит	Полиметаллическая	2	0,015	0,005	—	0,0005	—	—	—	—
Сфалерит	Полиметаллическая	6	0,005	—	0,0025	0,010	0,0015	0,40	—	—
Блеклая руда	Полиметаллическая	1	0,3	0,003	0,001	0,005	0,0003	0,1—0,3	—	—

вается преимущественно в верхних горизонтах месторождения. Главными рудными минералами являются пирит и халькопирит, жильными — кварц, карбонаты, барит, ангидрит-гипс. Порядок выделения минералов: леверрьерит и серицит, кварц I, пирит, арсенопирит, флюорит, халькопирит, барит, сфалерит, борнит, станнин, самородное золото, висмутин, теннантит, галенит, кварц II, кальцит, ангидрит и гипс (И. Г. Магакьян, 1947).

В отношении концентрации благородных и редких металлов руды месторождения изучены недостаточно. По данным опробования 1929—1940 гг., в медноколчеданных рудах содержится в среднем 0,5 г/т Au и 20—30 г/т Ag, при содержании меди 4—5%. В полиметаллических рудах установлены: Ag—150—300, Au до 4 г/т. Содержание указанных элементов значительно возрастает в свинцово-серебряных и борнитовых рудах, достигая — Au до 8 г/т и Ag—600—700 г/т (И. Г. Магакьян, 1947).

Более полные данные имеются по прожилково-вкрапленным рудам западного фланга Центрального участка месторождения. Эти руды в среднем содержат Ag—4,5, Au—0,1 г/т, Se—0,0035%, Te — 0,00185% (Э. А. Степанян, В. С. Симонян), при содержании меди 0,7—3,5%. В полиметаллических рудах спектральными анализами установлено: Ag от 0,001 до 0,1%, Ga до 0,01% (в среднем 0,002%), In до 0,001% и Cd 0,01—1,0% (В. О. Пароникян, 1963).

В медно-цинковых рудах Центрального, уже отработанного участка месторождения, отмечалось Ag — 0,01—0,03, Cd — 0,3—1,0, Ga — 0,001, In — 0,001—0,003% (Э. А. Хачатурян).

Результаты химических и спектральных анализов мономинеральных проб из различных парагенетических ассоциаций приведены в табл. 29 (данные В. О. Пароникяна). Заслуживают внимания высокие содержания селена и теллура в главных сульфидных медно-колчеданных рудах, хотя тщательный просмотр полированных шлифов не показал присутствия собственных минералов селена или теллура.

Таким образом, для медно-колчеданных руд характерными являются Ag, Se, Te, частично также Au, Bi; в полиметаллических рудах, наряду с ними, значительно возрастают содержания Ge, Ga, In, Cd (а также Au и Bi).

#### 4. Анкадзорская группа месторождений

Месторождения и рудопроявления Анкадзорской группы расположены в Кироваканском районе. В группу входят Анкадзорское, Эларское, Сисимаданское месторождения и ряд рудопоявлений (Баяндурское, Тлоти-джурское и др.).

Таблица 30

Содержания редких элементов в рудах Анкадзорской группы месторождений (по Н. С. Хачатрян и Б. Д. Акопян)

Месторождение и проявление, наименование пробы	Кол-во анализов	Содержание элементов, ‰				
		Медь (среднее)	Селен		Теллур	
			от—до	среднее	от—до	среднее
<b>Анкадзорское месторождение</b>						
Медный концентрат	11	18,43	0,0064—0,051	0,00346	0,0028—0,044	0,0118
Пиритовый концентрат	2	—	—	0,0176	—	0,0352
<b>Эларское месторождение</b>						
Медный концентрат	8	12,58	0,008—0,022	0,0176	0,0016—0,0704	0,0156
Пиритовый концентрат	6	—	0,0024—0,016	0,0072	0,0016—0,0032	0,0021
<b>Баяндурское проявление</b>						
Халькопирит	1	—	—	0,025	—	0,002
Халькопирит-пиритовый концентрат	1	—	—	0,017	—	0,005
<b>Тлоти-джурское проявление</b>						
Медный концентрат	1	24,57	—	0,03	—	0,0025
Пиритовый концентрат	3	—	0,0048—0,0080	0,0063	0,0016—0,0025	0,0021

В геологическом строении района месторождений принимают участие плагиоклазовые порфириды, их туфы, туфобрекчии и туфопесчаники, кварцевые порфириды, которые перекрываются толщей липарито-дацитов. Рудовмещающими породами являются плагиоклазовые порфириды, их туфы и туфобрекчии. Рудные тела представлены жилами, прожилково-вкрапленными зонами, штоками и линзами. В минеральном составе руд участвуют в основном пирит и халькопирит, второстепенное значение имеют галенит, сфалерит, энаргит и другие минералы.

Редкие элементы руд изучались Н. С. Хачатряном и Б. Д. Акопян в 1962 г., данные которых сведены в табл. 30.

### 5. Чибухлинское медноколчеданное месторождение

Месторождение расположено в Степанаванском районе в бассейне р. Желтой. Оно представлено по С. С. Мкртчяну, телами медно-серноколчеданных руд среди вулканогенно-осадочной толщи эоцена. Характер распределения редких и благородных элементов изучен Э. А. Хачатуряном, Н. С. Хачатряном, Б. Д. Акопян и Э. А. Сагателян.

На месторождении преобладающим является медно-серноколчеданный тип оруденения с подчиненной ролью полиметаллов. В медно-серноколчеданных рудах по текстурным особенностям выделяются массивные, брекчиевидные и прожилково-вкрапленные разновидности.

Содержание редких и благородных элементов в различных типах руд приводится в табл. 31.

Таблица 31

Содержание Se, Te и Ag в различных типах руд месторождения  
(по Э. А. Сагателян)

Типы руд	Содержание элементов, ‰		
	Селен	Теллур	Серебро
Массивная халькопиритовая руда	0,0100	0,0080	0,00124
Густо-вкрапленная пирит-халькопиритовая руда	0,0080	0,0030	0,00122
Вкрапленная пирит-халькопиритовая руда	0,0070	0,0070	0,00096
Вкрапленная полиметаллическая руда	0,0020	0,0010	0,00122

По Н. С. Хачатряну и Б. Д. Акопян, содержание селена в халькопиритах составляет 139 г/т, теллура—22 г/т, а в пиритах соответственно 160 и 47 г/т. Медный концентрат в среднем содержит 149 г/т селена и 50 г/т теллура. В сфалерите содержание кадмия варьирует от 0,11 до 0,19%.

Спектральным анализом в сфалерите установлены: галлий — до 0,1%, индий — до 0,01%, в халькопирите — индий — 0,001%. Содержание висмута в рудах доходит до 0,01%, а бериллия — до 0,001%.

## 6. Палантекянское проявление

Проявление расположено на западном склоне г. Лалвар, в 15 км к северо-западу от гор. Алаверди и приурочено к хлоритизированным, карбонатизированным и эпидотизированным порфирирам средней юры. Руда представлена халькопиритом и пиритом с незначительной примесью магнетита, гематита, сфалерита и галенита.

Редкометальность руд проявления изучали Н. С. Хачатрян и Б. Д. Акопян, данные которых приводятся ниже.

Химическим анализом в пиритах обнаружены селен (0,0048—0,054%) и теллур (0,0032—0,017%). Среднее содержание селена составляет 0,0303, теллура—0,0078%. В медном концентрате (Cu — 13,65%) среднее содержание селена равно 235 г/т, теллура — 53 г/т.

Спектроскопически в единичных пробах руды улавливается наличие бериллия, галлия, циркония и висмута (до 0,001%).

Наиболее высокие содержания кадмия (до одного процента) отмечаются в сфалерите.

## 7. Спасакарское проявление

Проявление пространственно приурочено к туфо-порфирирам среднеюрского возраста и в отношении распределения редких и благородных элементов изучено слабо. Медные руды месторождения, по данным Н. С. Хачатряна и Б. Д. Акопян, содержат в среднем Se — 21,0 г/т и Te — следы. В медных концентратах среднее содержание селена равно 0,007%, теллура — 0,0005%.

## 8. Агвинское проявление

Проявление находится в 3,5 км к западу от железно-разведочной станции Санаин. На проявлении поисково-разведочные работы производились в 1914—1916, 1934—1935, 1940—1941, 1954—1960 гг.

В геологическом строении проявления принимают участие вулканогенно-осадочные породы средней юры (порфириды, туфобрекчии, реже туфопесчаники) и эоцена (порфириды, туфобрекчии, фельзитовые туфы и др.). В 2,5 км к северо-западу от проявления указанные породы прорваны небольшими телами интрузий гранитоидного состава. Жильные породы развиты слабо и представлены дорудными дайками диабазового порфирита.

Рудные тела — жилы и зоны с прожилково-вкрапленным оруденением залегают среди гидротермально измененных вулканогенных пород. Тяготеют они к тектоническим трещинам и зонам дробления, прослеживаемым в северо-западном близмеридиональном направлении с крутыми падениями на северо-восток.

Главными рудными минералами являются пирит, халькопирит и гематит. Установлены также сфалерит, галенит, молибденит и рутил. Нерудные минералы представлены кварцем, хлоритом, эпидотом, реже кальцитом и баритом (И. Г. Магакьян, 1947).

Отмечаются более ранняя—гематитовая и поздняя — халькопиритовая стадии минерализации. В рядовых рудах месторождения установлены—Au—0,15 и Ag—19,3 г/т (Б. С. Вартапетян). Спектральные анализы показывают довольно часто присутствие висмута до 0,1%, особенно в образцах, отобранных из нижних горизонтов.

Таблица 32

Содержания редких элементов в сульфидах проявления  
(по В. О. Пароникяну)

Название минерала	Кол-во проб	Среднее содержание элементов, %					
		Ag	Bi	Кол-во проб	Se	Te	Se:Te
Пирит	12	0,0004	0,001	9	0,0326	0,0066	5:1
Халькопирит	16	0,0020	0,0004	9	0,0328	0,0025	13:1
Сфалерит	6	0,0006	Не обн.	—	—	—	—

Из табл. 32 следует, что основными носителями селена и теллура являются пирит и халькопирит, при возрастании соотношения Se:Te от пирита к халькопириту. Обращает внимание значительная концентрация селена в указанных минералах. Н. С. Хачатрян и Б. Д. Акопян отмечают небольшие содержания германия, установленные в пиритовых

(0,3 г/т) и медных (0,6 г/т) концентратах; содержание Ge несколько возрастает в сфалерите (5 г/т). Наряду с этим в медном и пиритовом концентратах установлена примесь индия 2,5 — 5 г/т.

Таким образом, аналогично другим колчеданным месторождениям Алавердского рудного района в рудах рассматриваемого месторождения практическую ценность могут представить серебро, селен и теллур, при второстепенной роли висмута, германия и индия. Специфической особенностью руд является более высокая концентрация селена.

## 9. Тандзутское серноколчеданное месторождение

Месторождение известно издавна и эксплуатировалось как серноколчеданное, с перерывами, с 1903 по 1926 гг. Данные о золотоносности колчеданных руд были известны еще с 1930—1935 гг. В 1935 г. в качестве источника россыпного золота в числе других Г. Эристави указывал и Тандзутское месторождение, в серноколчеданных рудах которого по четырем пробам было установлено золото в количестве 1,2—4,2 г/т. Дальнейшие работы по золоту проводились с 1950 г.

В геологическом строении месторождения принимают участие кварцевые порфиры и альбитофиры среднеэоценового возраста, на которые несогласно налегают туфогенные породы. Эти породы секутся дорудными дайками плагиоклазовых порфиритов, к которым приурочены медноколчеданная, полиметаллическая и золотомедная минерализации.

Измененные кварцевые порфиры и альбитофиры образуют брахиантиклинальную складку СЗ—ближширотного простирания, которая с юга и севера ограничивается тектоническими зонами разломов, соединяющихся друг с другом к востоку от месторождения. Оруденение контролируется южным — Тандзутским нарушением.

Главным типом руд является серноколчеданный, представленный тремя линзами: «Основной», «Южной» и «Северной», залегающими среди измененных кварцевых порфиритов и альбитофиров. Все линзы имеют близширотное простирание с падением на юг, юго-запад под углом 30—45°. Простирание линз совпадает с простиранием зоны нарушения и сланцеватостью пород. Наиболее крупная линза «Основная» имеет мощность до 40 м, по простиранию прослеживается на сотни метров, а по падению — на несколько десятков метров. «Северная» линза прослеживается по простиранию на несколько сот метров, по падению — на десятки метров, а по мощности до 20 м. «Южная» линза прослежена по простиранию на сот-

## Содержание редких и благородных элементов в различных пробах Тандзугского месторождения

Наименование проб	Содержание элементов, ‰										По данным
	Se	Te	Ga	Ge	Bi	In	Tl	Cd	Au	Ag	
Серноколчеданная руда	0,012— 0,018	0,0034— 0,014	—	—	—	—	—	—	0,00007— 0,0001	0,0009— 0,0026	Э. А. Сага- телян, 1963
Вкрапленная полиметаллическая руда	—	—	0,0033	—	—	0,0009	—	0,09	0,00024	0,0047	
Серноколчеданная руда	0,001— 0,036	0,0005— 0,0256	0,0001	0,0004	0,0029	—	0,0001— 0,0002	—	—	—	Н. С. Хачат- рян, Б. Д. Акопян
Пиритовый концентрат	0,003	0,003	—	—	—	—	0,00025	—	—	—	
Зернистый пирит	0,003	0,003	—	—	—	—	—	—	—	—	
Коллоидный пирит	0,034	0,0024	—	—	—	—	—	—	—	—	Э. А. Хача- турян, 1957
Энергит	—	0,05	—	0,001— 0,003	0,01	—	—	—	0,001— 0,003	0,001— 0,10	А. И. Кара- петян

ни метров и по падению первые десятки метров, мощность линзы 10 м.

В минеральном составе серноколчеданных руд установлены: пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, энаргит, блеклая руда, виттихенит, станнин, рутил, самородное золото, серебро и др. Руды имеют массивную, колломорфную, брекчиевидную, тонкополосчатую, прожилково-вкрапленную текстуру.

В рудообразовании выделяются две стадии минерализации: серноколчеданная и полиметаллическая.

В отношении золота большой интерес представляют прожилково-вкрапленные медные и полиметаллические руды. По-видимому, полиметаллические и золотоносные руды наложены на колчеданные и (как и на Амзачиманском месторождении) связаны с Гилутским массивом.

По золотоносности значительный интерес представляет также железная шляпа, прослеживающаяся полосой в широтном направлении на 2—2,5 км при средней ширине полосы 300—400 м. Содержание золота на отдельных участках этой полосы колеблется в пределах 2—16,4 г/т, серебра 3—100 г/т. В медно-колчеданных рудах в среднем содержится золота—3 г/т (иногда 14,1 г/т), в полиметаллических рудах—Au—2,0 и Ag—8,0 г/г.

Среднее содержание золота в серноколчеданной руде (39 проб) составляет 1,06 г/т, а Ag — 7,0 г/т.

Анализ имеющихся данных по золоту и серебру показывает, что в среднем в рядовой, валовой руде месторождения содержится золота 1,5—2 г/т и Ag — 7—8 г/т, что представляет определенный практический интерес.

Кроме благородных элементов, в рудах установлены концентрации ряда редких элементов. По данным Д. Г. Чатяняна, руды содержат в среднем теллура — 33, селена — 101 г/т.

Содержание редких и благородных элементов в рудах, концентратах и минералах приводится в табл. 33. При комплексном использовании серноколчеданных руд практический интерес могут представить золото, серебро, селен и теллур.

## 10. Чибухлинское серноколчеданное месторождение

Месторождение расположено в Степанаванском районе, по реке Черная. Здесь разведаны три линзы. Мощность рудных тел непостоянная и колеблется в широких пределах—от 2 до 55 м при протяжении до 100 м.

Содержания S, Se и Te в рудных линзах месторождения  
(по Д. Г. Чатиняну)

Рудные линзы	Содержание элементов, ‰		
	Сера	Селен	Теллур
Первая рудная линза	41,94	0,0073	0,0073
Вторая рудная линза	30,97	0,0064	0,0064
Третья рудная линза	22,50	0,0020	0,0028

В рудных линзах с повышением концентрации серы наблюдается соответственное увеличение содержаний селена и теллура (табл. 34). В рудах месторождения среднее содержание селена составляет 0,0043, теллура — 0,0045 ‰, при среднем содержании серы — 26,24 ‰.

Концентрации селена, теллура и серебра в различных рудах приведены в табл. 35 по данным Э. А. Сагателян.

Таблица 35

Содержания Se, Te и Ag в различных типах руд месторождения

Типы руд	Содержание элементов, ‰		
	Селен	Теллур	Серебро
Колломорфная серноколчеданная руда	0,0020	0,0070	0,00124
Густо-вкрапленная руда	0,0100	0,0020	0,00122

Пириты в среднем содержат Se—220, Te—51 г/т. В сфалеритах содержание кадмия варьирует в пределах 0,1—0,3 ‰, редко до 1,0 ‰. Индий установлен в серноколчеданной руде в количестве до 0,01 ‰, а в халькопирите около 0,001 ‰.

Руды Чибухлинского месторождения могут представлять интерес в отношении извлечения из них селена и теллура.

## 11. Ахталское полиметаллическое месторождение

Ахталское барито-полиметаллическое месторождение расположено в 2 км к западу от ст. Ахтала, Алавердского района Армянской ССР.

Месторождение было известно и частично разрабатывалось еще в глубокой древности. Первоначально здесь добы-

вались золото и серебро, затем медь и полиметаллы, позже барит. В настоящее время месторождение разрабатывается на полиметаллы с попутной добычей барита.

Ахталское месторождение богато различными редкими и благородными элементами. Характер распределения и формы нахождения этих элементов освещены в работах И. Г. Магакьяна, Э. А. Хачатуряна, М. Л. Лачиняна, А. И. Карапетяна, В. О. Пароникяна и др.

Оруденение Ахталского месторождения приурочено к верхним горизонтам кварцевых порфиров байоса или верхнего лейаса, (?), где они подергнуты интенсивным гидротермальным изменениям, представленными окварцеванием, серицитизацией, хлоритизацией и пиритизацией. В структурном отношении месторождение находится в северо-восточном крыле Дебедской брахиантклинальной складки, которая в пределах месторождения смещается разрывными нарушениями преимущественно северо-западного простирания.

Подсчитанные к настоящему времени основные запасы полезных компонентов Ахталского месторождения были сконцентрированы в 13 линзообразных и пластообразных телах, размеры которых колеблются от  $10 \times 10 \times 2$  м до  $50 \times 100 \times 30$  м и более. Пока еще подчиненное значение имеет прожилково-вкрапленный тип оруденения, выявленный в виде пологопадающей зоны в толще покровных порфиров. Условия залегания рудных тел и очертания верхних границ находятся в зависимости от характера контакта покровной толщи и кварцевых порфиров. Нижняя граница выражена слабо, наиболее богатые руды переходят книзу в бедные с некондиционным содержанием металлов.

На месторождении выделяется несколько типов руд: серноколчеданный, медно-серноколчеданный, полиметаллический, баритовый, галенитовый и борнитовый. Среди них наибольшее развитие имеют полиметаллические руды. В пределах месторождения отмеченные типы руд размещаются следующим образом: серноколчеданные и медно-серноколчеданные руды, как правило, приурочены к более глубоким, а остальные — к верхним горизонтам. В пределах отдельных рудных тел различные типы руд зачастую совмещены — телекопированы. Детальное изучение взаимоотношений различных парагенетических ассоциаций минералов позволяет наметить следующую последовательность стадий минерализации: серноколчеданная, медноколчеданная, полиметаллическая, баритовая, карбонатная. Среди этих стадий наибольший интерес в отношении содержания редких и благородных элементов представляет полиметаллическая, руды которой

Таблица 36

Средние содержания редких и благородных элементов в главнейших рудных минералах Ахтальского месторождения (данные А. И. Карапетяна и В. О. Пароникяна)

Минералы	Стадия минерализации	Au, г/т	Ag, г/т	Se, г/т	Te, г/т	Bi, г/т	Ga, г/т	Ge, усл. ед.	Cd, г/т	In, г/т
Пирит	Серноколчеданная	1,5	4,5	110	25	Не обн.	Не обн.	1,3	—	—
	Медноколчеданная	1,2	4,5	175	40	2	Не обн.	1,5	—	—
Халькопирит	Полиметаллическая	2,5	10	200	35	2	5	1,5	10	10
	Медноколчеданная	2	20	88	80	5	3	2,5	—	—
Сфалерит	Полиметаллическая	7	45	100	35	8	6	4	15	—
	Полиметаллическая	15	250	130	62	15	220	25	10000	100
Галенит	Полиметаллическая	35	12000	120	75	12	50	3,5	—	—
Борнит	Полиметаллическая	100	3000	150	60	Не обн.	30	До 300	—	30
Теннантит	Полиметаллическая	150	1000	200	70	1	10	До 500	30	—
Штрюмейрит	Полиметаллическая	55	Основа	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	40	10	Не обн.

Примечание. Ag, Au — пробирные анализы; Se, Te, Bi, Ga, Ge — химические анализы и Cd, In — спектральные анализы.

стью этих элементов изоморфно входить в кристаллическую решетку соответствующих минералов. Несколько иначе объясняется обогащенность галенита галлием, а борнита — галлием и индием. Они также присутствуют в виде изоморфной примеси, но не в самом халькопирите или борните, а в сфалерите, тесные сростания которого с галенитом и борнитом не позволяют получить достаточно чистые мономинеральные фракции. Этим обусловлена положительная корреляционная взаимосвязь между цинком, с одной стороны, и кадмием, галлием, германием — с другой, в различных продуктах Ахтальской обогатительной фабрики.

Среди различных флотопродуктов Ахтальской обогатительной фабрики наибольший интерес в отношении содержания редких и благородных элементов представляют свинцовые и цинковые концентраты. В них особого внимания заслуживают германий, кадмий, галлий. Свинцовые концентраты характеризуются повышенным содержанием серебра, золота, селена и теллура. Медные концентраты представляют интерес в отношении селена, теллура, возможно также золота, серебра и германия.

## 12. Шаумян-Халаджское полиметаллическое месторождение

Месторождение расположено в 4—5 км к северо-востоку от гор. Кафана. Оно известно издавна и небольшие разведочные и эксплуатационные работы были произведены еще до установления Советской власти в Армении. В 1927 г. были возобновлены разведочные работы, которые продолжались до 1943 г., после чего рудник в основном находился в состоянии консервации, если не считать некоторые работы разведочно-эксплуатационного характера, которые проводились с перерывами в период 1949—1955 гг.

Начиная с 1963 г. вновь возобновились разведочные работы, которые широким фронтом продолжаются и сейчас.

Изучением минералогии, геохимии руд и характера распределения редких и благородных элементов в разные годы занимались: Н. П. Прокопенко, С. С. Ваниюшин, И. Г. Магакьян, Г. О. Пиджян, Э. А. Хачатурян, Н. С. Хачатрян, Б. Д. Акопян, В. О. Пароникян, Р. Н. Зарьян, А. И. Карапетян и др.

Обобщение и анализ накопленного к настоящему времени довольно большого фактического материала по содержанию золота, серебра и редких элементов позволило Г. О. Пиджяну и В. О. Пароникяну по-новому оценить полиметаллические руды и выдвинуть Шаумян и Халадж как объекты,

заслуживающие внимания и представляющие определенный практический интерес.

Оруденение залегает среди кварцевых порфиров средней юры и представлено многочисленными крутопадающими полиметаллическими жилами широтного простирания. Жилы сложные, часто ветвятся и прослеживаются по простиранию на 100—200 м и по вертикали — 160 м при мощности от 0,1 до 1,5 м.

Полиметаллические руды Шаумяна и Халаджа имеют довольно сложный минеральный состав: наряду с главными рудообразующими минералами: сфалеритом, галенитом, халькопиритом и частично пиритом, под микроскопом в их полях встречаются блеклые руды, борнит, самородное золото, алтаит, тетрадимит, гессит, пелцит (?), теллуридовисмутит, самородное серебро и калаверит-креннерит (?). Из жильных минералов распространены кварц и карбонаты, редко встречаются диккит и барит.

Наиболее достоверные сведения о содержании в рудах Шаумяна золота и серебра имеются в работах Н. М. Прокопенко и С. С. Ванюшина. По их данным, полиметаллические руды содержат золота от 1,2 до 411,0 г/т и серебра от 20,8 до 4473,0 г/т.

С. С. Ванюшин для жил № 1 южн., 3 южн., 4 южн., и «Депутат» приводит высокие содержания золота и серебра. Даже без учета результатов нескольких («ураганных») проб на основании 48 анализов содержание золота составляет 11,5 г/т, а серебра — 207,1, г/т.

В табл. 37 приводится содержание золота и серебра в главнейших сульфидах Шаумяна и Халаджа по данным В. О. Пароникяна.

Таблица 37

Содержание Au и Ag в сульфидах Шаумяна и Халаджа  
(пробирные анализы)

Рудообразующие сульфиды	Кол-во исследованных проб	Среднее содержание, г/т	
		Au	Ag
Сфалерит	14	23,4	319,2
Галенит	5	6,0	343,8
Халькопирит	6	47,9	353,0

Золото и серебро в рудах Шаумяна и Халаджа встречаются в следующих формах: а) собственными минералами,

Содержания редких элементов в сульфидах Шаумяна и Халаджа (спектральные анализы)

Рудообразующие сульфиды	Количество исследованных проб	Содержание элементов, %									
		In		Te		Ga		Cd		Ge	
		Пределы содержания	Среднее содержание	Пределы содержания	Среднее содержание	Пределы содержания	Среднее содержание	Пределы содержания	Среднее содержание	Пределы содержания	Среднее содержание
Сфалерит	52	0,001—0,1	0,008	Не обн.—0,3	0,03	0,001—0,1	0,01	1—3	1	0,0001—0,03	0,003
Галенит	14	Не обн.—0,03	0,0003	Не обн.—0,5	0,03	Не обн.—0,005	0,001	0,01—0,1	0,03	Не обн.—0,0003	0,0001
Халькопирит	8	Не обн.—0,01	0,0017	Не обн.—0,1	0,01	Не обн.—0,01	0,001	0,003—0,3	0,03	Не обн.—0,003	0,0003
Пирит	2	Не обн.—0,001	0,0001	0,001—0,1	0,01	Не обн.—0,001	0,0001	0,001—0,1	0,01	Не обн.—0,001	0,0001

Содержания редких элементов в сульфидах Шаумяна и Халаджа (химические анализы)

Рудообразующие сульфиды	Кол-во исследованных проб	Содержание элементов, %										
		Se		Te		Ge		Re		Mo		
		Пределы содержания	Среднее содержание	Пределы содержания	Среднее содержание	Кол-во исследованных проб	Пределы содержания	Среднее содержание	Кол-во исследованных проб	Среднее содержание	Пределы содержания	
Сфалерит	8	0,005—0,009	0,0075	0,011—0,04	0,021	20	Не обн.—0,0359	0,0012	1	0,000003	0,006	—
Галенит	8	0,0039—0,0260	0,012	0,02—0,04	0,032	4	Не обн.—0,0001	0,00005	1	0,000014	0,014	0,001—0,002
Халькопирит	3	0,0040—0,0065	0,0052	0,0065—0,0090	0,008	4	Не обн.—0,0002	0,0001	—	—	—	—
Пирит	2	0,0056—0,0060	0,0058	0,0055—0,0076	0,0065	1	0,0004	0,0004	—	—	—	—

большой частью в виде теллуридов (гессит, петцит, креннерит-калаверит?) и отчасти самородных дисперсных частиц рассеянных в полях или стыках сульфидных минералов; б) в виде изоморфной примеси в сульфидах. Преобладающей является первая форма нахождения.

Геохимические исследования показали, что полиметаллические руды Шаумянской группы месторождений значительный интерес представляют также в отношении содержания некоторых редких элементов: индия, теллура, галлия, кадмия и селена.

В табл. 38 и 39 обобщены результаты спектральных и химических анализов главнейших рудообразующих сульфидов Шаумяна и Халаджа на редкие элементы по данным: Э. А. Хачатуряна, Г. О. Пиджяна, В. О. Пароникяна, Р. Н. Зарьяна и А. И. Карапетяна.

Таким образом, высокие и повышенные содержания ряда редких элементов в сфалерите, галените и халькопирите Шаумяна и Халаджа дают основание ставить вопрос о комплексе извлечения из руд таких ценнейших металлов, как индий, теллур, галлий, кадмий и селен. При этом следует отметить, что цинковые концентраты представляют наибольший интерес в отношении индия, теллура, галлия и кадмия; свинцовые — теллура и селена; а медные — теллура.

\* \* \*

Накопленный большой фактический материал по месторождениям колчеданной формации (Кафан, Шаумян-Халадж, Шамлуг, Ахтала, Алаверди, Гандзут и др.) показывает, что руды этих месторождений характеризуются повышенными содержаниями селена, теллура, кадмия, золота, серебра, висмута, а также индия, галлия, германия. В целом наиболее высокие концентрации всего комплекса перечисленных элементов связаны с рудами наиболее поздних стадий минерализации (медноколчеданной, медно-мышьяковой и полиметаллической), поэтому ценность каждого конкретного месторождения в отношении рассматриваемых элементов определяется интенсивностью проявления этих стадий минерализации.

Ниже приводится характер распределения редких и благородных элементов в колчеданной формации руд.

Селен. Основными носителями селена в рудах колчеданных месторождений являются пирит и халькопирит. В них

скоцентрировано более 80% селена. Содержание селена в пирите и халькопирите колеблется от нескольких до несколько сот граммов на тонну. Наиболее характерные содержания селена для этих минералов колеблются в пределах тысячных долей процента. При этом среднее содержание селена в пирите значительно выше (в 2—3 раза), чем в халькопирите. Наиболее богаты селеном пириты Кафанского месторождения. В них содержание селена достигает 0,05%. В халькопирите максимальное содержание селена составляет 0,01%. Этим обусловлена значительная обогащенность селеном серноколчеданных руд (до 0,02%) по сравнению с медноколчеданными рудами (до 0,01%).

Кроме пирита и халькопирита в отдельных случаях к числу основных минералов-носителей относятся также сфалерит и галенит. В них содержание селена колеблется в более узких пределах — от тысячных до сотых долей процента.

Самые высокие концентрации селена (0,75%) установлены в теллуридах и, в частности, в алтаите из Кафанского месторождения.

В процессе формирования рассматриваемых месторождений довольно отчетливо проявлена геохимическая связь селена, с одной стороны, с серой, а с другой — с теллуrom. Первая из них обуславливает привнос и совместное выпадение его с сульфидными минералами в течение всего процесса формирования руд, а вторая — преимущественное накопление его в теллуридах и богатых теллуrom рудах.

**Теллуr.** В отличие от селена, в поведении теллура достаточно отчетливо проявлена тенденция накапливаться в рудах и минералах наиболее поздних стадий минерализации. В главнейших рудных минералах колчеданных месторождений — в пирите и халькопирите содержание теллура колеблется в пределах от 0,002 до 0,005%. Повышенные содержания теллура (0,05% и более) установлены в энаргите, теннантите, а также в тех пробах сульфидных минералов, в которых в виде механической примеси присутствуют теллуриды (Кафан, Шаумян-Халадж).

Висмут является одной из характерных примесей руд колчеданных месторождений. В них наиболее интересные концентрации висмута связаны с рудами средних стадий минерализации, в которых были установлены минералы висмута: висмутин, виттихенит, эмплектит, тетрадимит, теллуrowисмутит и др.

Основным минералом-носителем и концентратором висмута является халькопирит, в нем среднее содержание висму-

та составляет 0,0065%, а максимальное — 0,3%, Висмут концентрируется также в халькозине, борните, энаргите и теннантите (до 0,5%). В медных концентратах Кафанской обогатительной фабрики среднее содержание висмута составляет 0,0048%.

Галлий концентрируется главным образом в сфалерите (до 0,01—0,03%). Наиболее богаты галлием сфалериты Шаумянского месторождения, где содержание галлия достигает 0,1—0,3%. Галлий установлен также в халькопирите, галените и других минералах. Он концентрируется в рудах полиметаллической стадии минерализации.

Германий концентрируется в рудах главным образом наиболее поздних стадий минерализации. Отчетливо проявлена геохимическая связь германия с мышьяком и цинком. Основными концентраторами его являются сфалерит, энаргит, теннантит и отчасти борнит. Среднее содержание германия в сфалеритах рассматриваемых месторождений колеблется в пределах от нескольких до несколько десятков условных единиц. Наиболее высокие содержания связаны с розовато-красным сфалеритом Кафанского месторождения. В остальных минералах содержание германия не превышает несколько сотых условных единиц.

Кадмий концентрируется главным образом в сфалерите, который одновременно является и основным минералом-носителем. Наиболее богаты кадмием сфалериты Ахтальского месторождения. Здесь широко развита богатая кадмием разновидность сфалерита — пршибрамит, содержащий до нескольких процентов кадмия. В остальных минералах содержание кадмия обычно низкое и очень редко превышает сотые доли процента.

Индий по кристаллохимическим свойствам имеет наибольшие черты сходства с цинком и медью, что и определяет его поведение в процессе формирования колчеданных месторождений. В сфалеритах рассматриваемых месторождений содержание индия колеблется от десятитысячных до сотых долей процента. Наиболее богаты индием сфалериты Шаумян-Халаджского месторождения, в которых содержание его достигает 0,01—0,03%. Аналогичная картина наблюдается и в индиеносности халькопиритов рассматриваемых месторождений.

Таллий. Поведение таллия в процессе формирования рассматриваемых месторождений довольно сложное и в настоящее время остается еще недостаточно изученным. Представляет определенный интерес наличие сравнительно повышенных концентраций (0,01—0,03%) в пирите из Ахтальского

месторождения. Оно свидетельствует в пользу предполагаемой связи таллия с железом. Значительно обогащены таллием (0,01%) также сфалериты из Барабатумского рудника (Кафанское месторождение). В остальных минералах содержание таллия не превышает тысячных долей процента.

Рений является не характерным элементом руд колчеданных месторождений. Его содержание в рудах и мономинеральных фракциях не превышает десятых долей грамма на тонну.

Золото является одним из наиболее характерных элементов-примесей руд колчеданных месторождений. Оно проявляет достаточно отчетливо тенденцию накапливаться в более поздних, сравнительно низкотемпературных ассоциациях минералов. Руды ранних стадий минерализации (серноколчеданная, медноколчеданная), как правило, бедны золотом, в них содержание золота обычно колеблется в пределах десятых долей грамма на тонну до 1—2 г/т и редко доходит до нескольких граммов на тонну.

Повышенные концентрации золота связаны с медно-мышьяковыми и полиметаллическими рудами. Обогащена золотом (до 14 г/т) также железная шляпа Тандзутского серноколчеданного месторождения. Медно-мышьяковые руды Ахтальского месторождения, представленные борнит-теннантитовой ассоциацией минералов, содержат несколько больше золота, чем медно-мышьяковые (энаргит-теннантитовые) руды Кафанского месторождения. В полиметаллических рудах содержания золота колеблются в пределах от 1,2—4 г/т (Алаверди, Шамлуг, Чибухли) до 16 г/т (Ахтала, Халадж) и редко — 411 г/т (Шаумян). Золото распределяется неравномерно и по различным рудным минералам. В пирите его содержание колеблется в пределах от не обн. до 2,5 г/т. При этом наиболее богаты золотом пириты Ахтальского месторождения. В халькопирите содержание золота, как правило, значительно (в 2—3 раза) выше, чем в пирите. Наиболее высокие содержания золота (300 г/т) установлены в теннантите и борните из медно-мышьяковых руд Ахтальского месторождения, затем по степени обогащенности золотом идут халькопирит (55 г/т) и сфалерит (30 г/т) из полиметаллических руд Кафанского месторождения. Во всех случаях высокие содержания золота в минералах связаны с микроскопическими включениями его собственных минералов, представленных теллуридами (Кафан) и самородным золотом.

Серебро является одним из характерных и широко распространенных элементов-примесей руд колчеданных месторождений. В своей основной массе серебро привносится

в более поздних стадиях минерализации и накапливается в низкотемпературных минералах.

В рудах наиболее ранних стадий минерализации среднее содержание серебра колеблется в пределах от 1,5—7 г/т (серноколчеданные руды) до 3—10 г/т (медноколчеданные руды). В медно-мышьяковых и полиметаллических рудах содержание серебра в среднем на один порядок выше, чем в серноколчеданных рудах. Особенно богаты серебром руды Ахтальского месторождения, в которых установлены минералы серебра—аргентит (акантит), штромейерит, ялпаит, самородное серебро и др. В мономинеральных фракциях галенита из Ахтальского месторождения содержание серебра иногда достигает 17,5%. Обогащены серебром (1—2%) также теннантит и борнит.

## В. ЗОЛОТОРУДНЫЕ ФОРМАЦИИ

Золото на территории республики было известно и разрабатывалось издавна, о чем свидетельствуют следы древних выработок, остатки орудий труда и каменных ступ для дробления золотоносных пород и руд. До 1950—1951 гг. перспективы золотоносности территории республики оценивались невысоко, а коренные месторождения золота оставались неизвестными. По существу золотоносность сводилась к небольшим месторождениям россыпного золота р. Агстев, в районе города Дилиджана, и к выявленным шлиховым опробованиям ореолам распространения золота в аллювии бассейнов рр. Дебед, Агстев, Мармарик, Арпа, Воротан, Гехи, Цав, Масрик и др. К этому времени были известны также микровключения золота в колчеданных рудах Алавердской и Кафанской групп месторождений, в медно-молибденовых рудах месторождений Агарак и Дастакерт, в полиметаллических рудах месторождения Гюмушхана в Даралагезе. Химическими анализами золото было установлено почти во всех типах сульфидных руд Армении в количестве 1—5 г/т, изредка до 40—50 г/т.

Данные шлиховой съемки, проведенной И. Г. Магакьяном в рудных районах Армении, и детального изучения руд различных типов послужили основанием для организации специальных работ на золото, в которые включились ИГН АН Армянской ССР, Армянское УГ и трест Кавзолоторазведка.

Целеустремленные работы геологов республики последних 10—15 лет привели к открытию целого ряда коренных перспективных месторождений и проявлений золота (Зод, Меградзор, Личквас, Амзачиман, Геарчин, Намазелян и др.),

среди которых Зодское месторождение является наиболее интересным и перспективным.

Среди золоторудных формаций Армении можно выделить: а) золото-теллутовую (Зод, Меградзор, Намазелян и др.), б) золото-сульфидную (Личкваз, Gearчин, Фиолетово и др.) и в) золото-шеелитовую (Амзачиман).

В золоторудных формациях руд установлены: золото-теллутовый (Зод, Меградзор, Намазелян, Амзачиман), золото-арсенопиритовый (Зод, Личкваз), золото-полиметаллический (Зод, Меградзор, Личкваз, Gearчин, Амзачиман, Сарнахпюр, Фиолетово и др.), золото-сульфоантимонитовый (Азатек) и золото-шеелитовый (Амзачиман) минеральные типы руд (Ш. О. Амирян, 1968).

Минеральный состав руд золоторудных формаций довольно сложен и разнообразен и включает большое число самородных элементов (Au, Ag, Bi, Cu, Te), сульфидов, арсенидов, сульфосолей, теллуридов, окислов, карбонатов, сульфатов, вольфраматов и силикатов. Главными жильными минералами являются кварц, халцедон, кальцит, анкерит, родохрозит, а из рудных — пирит, арсенопирит, сфалерит, халькопирит, марказит, галенит, пирротин, антимонит, сульфосоли свинца, меди, сурьмы, висмута, серебра и мышьяка, теллуриды золота, серебра, висмута, свинца, никеля, ртути и меди.

Перечисленные выше минералы образуют самые разнообразные парагенезисы, выделившиеся во многих стадиях рудного процесса и в самых различных температурных условиях.

По содержанию сульфидов выделяются: убогосульфидные (Амзачиман, Намазелян, Кабахлу, Зар и др., сульфидов не более 0,5%), малосульфидные (Меградзор, Сарнахпюр, Фиолетово, Фролова-балка, Маймех и др., сульфидов 0,5—5%) и умеренно сульфидные (Зод, Gearчин, Личкваз, сульфидов 10—20%) месторождения и проявления (Ш. О. Амирян, 1968).

Главные промышленные месторождения золота находятся в области развития альпийской металлогении (И. Г. Магакьян, 1966; И. Г. Магакьян, Ш. О. Амирян, 1967). Структурным контролем оруденения являются разрывные нарушения и зоны дробления и смятия пород, вдоль которых развиты гидротермальные изменения, представленные лиственитизацией, серицитизацией, хлоритизацией, каолинизацией и окварцеванием.

Общим для всех месторождений является присутствие золота в полисульфидных (полиметаллических) рудах, при этом золото в них выделялось после всех сульфидов, примы-

кая к выделению сульфосолей. Только на Зодском месторождении незначительная его часть отложилась совместно с сульфидами. В золото-теллуридных рудах оно выделялось после всех теллуридов.

Основной формой нахождения золота в рудах является самородная (в виде крупно- и тонкодисперсных частиц) и связанная в химических соединениях с теллуридом и серебром, в виде теллуридов. Кроме первичного золота, на некоторых месторождениях (Зод, Меградзор), в результате разложения теллуридов, на верхних горизонтах рудных тел образуется также вторичное золото, которое нередко развивается по трещинам усыхания лимонитов.

Характерным геохимическим признаком для оценки условий образования золоторудных месторождений является золото-серебряное отношение, в основном варьирующее в пределах 1:20—1:2 для типичных золоторудных месторождений и 1:150—1:80 для золотоносных сульфоантимонитовой и полиметаллической ассоциаций минералов Азатекского месторождения. Высокое золото-серебряное отношение обусловлено главным образом высоким содержанием золота, преобладанием теллуридов золота и присутствием серебра в рудах в основном в виде примеси в сульфидах и сульфосолях.

Проба золота из теллуридной и сульфоантимонитовой ассоциаций составляет 800—830, а из полиметаллической и арсенопиритовой — 900—950. Самая высокая проба у вторичного золота — 953.

### 1. Зодское месторождение

Сведения о вероятности наличия золота в верховьях р. Масрик приводятся в сводном отчете по шлиховой съемке рудных районов Армении (И. Г. Магакьян и В. Х. Ароян, 1947). На прогнозно-металлогенических картах Армении верховья р. Масрик до водораздела с рекой Тертер показаны как площади, перспективные на золото.

В 1948—1949 гг. золото в аллювиальных отложениях рек бассейна оз. Севан установила И. Г. Гаспарян.

В 1951 г. в сводке по золоту на территории Армянской ССР И. Г. Магакьяном приводится характер распределения золота в отложениях рек и намечается место вероятного источника золота, в частности в верховьях р. Масрик (Мазра).

Имея и учитывая эти данные, отряд геологов треста «Кавзолоторазведка» (Т. М. Степанян и др.) в 1951 г. на отмеченном выше участке открыл сначала золотоносные россыпи р. Сеидляр (приток р. Тертер) и следы древних разработок, а

затем и коренные выходы золотоносных руд на водоразделе рек Масрик и Сеидляр (Тертер) .

В последующие годы месторождение разведывалось сначала партией треста, а затем, с 1955 г., экспедицией Армянского геологического управления во главе с С. М. Матевосяном. В разведке и правильной оценке месторождения активное участие принимал большой коллектив геологов республики (А. А. Габриелян, С. С. Брутян, А. Е. Наринджян, Г. И. Гольденберг, Л. Г. Тер-Абрамян, Г. С. Григорян, Б. Батилян, Э. Ш. Овсепян, Г. К. Гекчян, Ш. О. Амирян, К. Ш. Арушанян, Р. А. Мкртчян, А. Арутюнян, Л. С. Меликян, Г. А. Саркисян, Э. Мадатян и др.), работавших под руководством начальника экспедиции С. М. Матевосяна.

Месторождение расположено среди ультраосновных, основных и вулканогенно-осадочных пород верхнемелового-верхнеэоценового возрастов и генетически связано с верхнетретичными умеренно кислыми гранитоидами. Месторождение относится к средне-низкотемпературным образованиям умеренных — малых глубин.

Минеральный состав руд характеризуется большим разнообразием. В рудах широким развитием пользуются пирит, арсенопирит, халькопирит, сфалерит, блеклые руды, золото, антимонит, галенит и другие минералы, среди которых особый интерес представляют теллуриды золота (калаверит, сильванит, креннерит, петцит), серебра (гессит), висмута (теллуrowисмутит, тетрадимит, пильзенит), никеля (мелонит), ртути (колорадоит), меди (вейссит, риккардит) и свинца (нагиагит, алтаит), большинство из которых установлено в последние годы (Ш. О. Амирян, 1960<sub>1</sub>, 2, 3).

Детальными работами (Ш. О. Амирян, 1960<sub>1</sub>, 3) доказан многостадийный прерывистый характер рудного процесса и выявлены следующие стадии минерализации: дорудная кварцевая, кварц-пирит-арсенопиритовая, кварц-карбонат-полиметаллическая, кварц-карбонат-золото-теллуровая, кварц-карбонат-сульфоантимонитовая и кварц-карбонатная безрудная. Продукты различных стадий минерализации, сложенные из определенных минеральных ассоциаций, обычно наложены друг на друга по повторно приоткрывавшимся трещинам.

Оруденение представлено несколькими зонами широтного, северо-западного простирания, главным образом с крутым падением в северные румбы. В этих же зонах выделяются жильные, линзовидные, гнездообразные тела. Мощность зон доходит до 20—25 м, а рудных жил—0,3—0,5 м (до 2 м в раздвухах). Среди жил более выдержанными являются арсенопиритовые и полиметаллические.

В структурном отношении месторождение находится в приосевой части антиклинальной складки, осложненной разрывными нарушениями субширотного простирания. Рудные тела находятся в продольных и оперяющих их разрывах, которые в плане и вертикальном сечении образуют сложную и вытянутую в субширотном направлении сеть. Отдельные ветви этой сложноплетенной сети рудничными геологами именуется рудными зонами, внутри которых данными опробования выделяются рудные тела с промышленным содержанием золота, серебра, теллура и других элементов. На месторождении выделяются больше тридцати таких тел, среди которых наибольший интерес представляют тела № 1, 2, 4, 6, 14, 15 и 18. В качестве примера ниже, по данным геологической экспедиции (С. М. Матевосян и др.), приводится описание некоторых из перечисленных тел.

Первое рудное тело расположено в перидотитах, серпентинитах и габбро. Простирается оно по азимуту  $275-280^\circ$  с углом падения в северные и южные румбы на разных горизонтах. Мощность тела в пережимах составляет 1—2 м, в раздувах доходя до 20—25 м. В восточном направлении разветвляется, в связи с чем мощность отдельных ветвей уменьшается.

Контакты тела с вмещающими породами в основном резкие, с глиной трения. В зоне находятся кварц-сульфидные жилы мощностью 0,3—0,5 м (2 м в раздувах). По падению одна из них разветвляется сначала на две, а ниже на четыре ветви. Отдельные ветви характеризуются различным строением и минеральным составом. В одних жилах преобладают кварц, арсенопирит и пирит; в других—карбонаты, пирит, сфалерит и халькопирит; в третьих — антимонит. Местами на них наложена золото-теллуровая минерализация.

Содержание золота в теле составляет от 2 до 34,37 г/т.

Второе рудное тело является апофизой первого. На западе примыкает к первому телу, а на востоке—к четырнадцатому. Простирается оно по азимуту  $245-265^\circ$  с падением в различные стороны, под углом  $75-90^\circ$ . Мощность тела варьирует в пределах 1—10,6 м.

На нижних горизонтах в зоне находится кварц-сульфидная жила мощностью 0,2—2 м, несущая самое высокое содержание золота и серебра по зоне. Контакты жилы с вмещающими измененными породами резкие. Переход же от измененных пород к свежим обычно тектонический с глиной трения. Содержание золота колеблется от 3,2 до 40,3 г/т.

Четырнадцатое рудное тело является одним из основных. Простирается в близширотном ( $280-300^\circ$ ) направ-

лении с южным падением, под углом  $75-85^\circ$ . Мощность тела колеблется в пределах 1—12 м. Здесь также по зоне развиваются кварц-сульфидные жилы мощностью 0,2—1,5 м. Среди жил на нижних горизонтах преобладают арсенипиритовые и полиметаллические. В отдельных участках встречаются богатые золотом и теллуридами гнезда и прожилки (шт. 4, 6, 23, 25, 40). В зоне содержание золота составляет 2,0—20,0 г/т.

Двадцать восьмое рудное тело. В противоположность остальным эта зона имеет северо-восточное ( $30^\circ$ ) простирание. Падает она на восток—юго-восток под углом  $75-80^\circ$ . На поверхности она представлена ветвящимися по простиранию кварц-карбонатными жилами и прожилками. На глубине мощность зоны и интенсивность минерализации в ней несколько увеличиваются. Наиболее сильноминерализованные участки приурочены к местам пересечения дайки кварц-порфира. Содержание золота в зоне по сравнению с другими низкое и колеблется в пределах 2,66—17,8 г/т.

Несколько южнее описанных тел, в массиве габбро, выделяется полоса плоско-параллельных прожилков общей мощностью 200—300 м. Мощность прожилков составляет 0,5—10,0 см. Общее простирание прожилков северо-восточное— $85^\circ$ . Падает она на юго-восток под углом  $75-85^\circ$ . Прожилки в основном полиметаллического состава с довольно высоким содержанием золота.

Зодское месторождение находится в зоне проявления интрузий основного и ультраосновного составов, которые прорываются штоками и дайками умеренно кислых гранитоидов, диоритов, кварцевых диоритов и кварц-порфиров (наиболее молодого — миоценового возраста).

Приуроченность малых интрузий и рудных зон к одним и тем же, наиболее молодым в районе трещинным структурам, пространственное совпадение малых интрузий и минерализации, совпадение фаций глубинности этих интрузий и руд, а также некоторые их геохимические особенности приводят к выводу о связи золоторудной минерализации с олигоцен-миоценовым гранитоидным интрузивным циклом.

Благоприятными для циркуляции гидротермальных растворов в рудном поле были зоны дробления, охватившие как породы основного-ультраосновного состава, так и вулканогенную толщу и гранитоиды. Рудный процесс протекал прерывисто, в течение шести стадий.

По составу руд и характеру изменения вмещающих пород, а также структурно-текстурным особенностям и другим признакам месторождение относится к средне-низкотемпературному, где золотоносные стадии отвечают условиям средних тем-

ператур, а антимонитовая стадия — средне-низкотемпературным. Небольшая мощность надрудной покрывки пород во время рудообразования и структурно-текстурные особенности руд показывают на небольшие глубины образования месторождения.

В рудах месторождения золото является одним из главных компонентов и отлагалось из рудоносных растворов главным образом в трех стадиях минерализации: пирит-арсенопиритовой, кварц-карбонат-полиметаллической (полисульфидной) и золото-теллуровой. Возможно, некоторая часть золота связана также с антимонитовой стадией, с пиритом и низкотемпературным арсенопиритом, ассоциирующимся с антимонитом. Несмотря на отрицательные результаты макроскопических и микроскопических наблюдений, золото устанавливается в них пробирными анализами. Возможно, в некоторой степени наличие золота в них обусловлено наложением антимонитовых руд на золотоносные.

Золото в рудах представлено четырьмя различными формами: а) самородное крупнодисперсное и свободное золото среди жильных и рудных минералов, в интерстициях их зерен; б) самородное сингенетическое золото—тонкодисперсное в полях сульфидов; в) теллуриды золота и г) гипергенное золото (за счет разрушения теллуридов и сульфидов). Золото отличается высокопробностью, колеблющейся в пределах 850—950. Самую высокую пробу имеет вторичное золото, затем золото, находящееся в ассоциации сульфидов, и самую низкую — золото, отложенное в золото-теллуровую стадию минерализации вместе с теллуридами.

Размер золотинок самородного золота колеблется в широких пределах, достигая 1—1,5 см<sup>2</sup> для пластинчатых выделений; встречаются также комковатые, крючковатые, нитевидные и дендритовые формы выделений размером до 0,5 см. Преобладает тонкодисперсное золото. По времени отложения в сульфидных рудах можно выделить две генерации золота: тонкодисперсное, захваченное сульфидами во время их кристаллизации, и крупнодисперсное, отложившееся позднее сульфидов. Обычно золото находится в полях пирита, пирротина, бравоита, арсенопирита, ваэсита, сфалерита, халькопирита, реже — полидимита, линнеита, галенита, герсдорфита и др. Часть золота ассоциирует с теллуридами, являясь более поздним, чем теллуриды.

В сульфидных рудах (пирит-арсенопиритовых) содержание золота по штуфам составляет 43,3 г/т, полиметаллических—19 г/т (изредка — несколько десятков г/т), в золото-

Таблица 40

Концентрация редких и благородных элементов в минеральных типах руд, концентратах и минералах Задского месторождения

Руды, концентраты и минералы	Содержание элементов, г/т					
	Au	Ag	Se	Te	Bi	Cd
Пирит-арсенопиритовая* руда (штуф)	43,3	42,35	52	140	60	50
Полиметаллическая руда (штуф)	19,0	93,58	10	110	60	200
Золото-теллуровая руда (штуф)	463,2	121,5	70	4200	4300	—
Антимонитовая руда (штуф)	8,4	39,6	7	40	42	8
Арсенопиритовый концентрат (из штуфа)	53,0	180	31	370	510	300
Полиметаллический концентрат (из штуфа)	390	300	23	320	210	370
Золото-теллуровый концентрат (из штуфа)	11000	9000	120	43000	4800	30
Медный концентрат (из штуфа)	20	100	60	80	100	300
Антимонитовый концентрат (из штуфа)	—	45	10—20	200	200	—
Пирит	46	40	22	150	73	20
Арсенопирит	130	70	150	400	90	80
Сфалерит	210	100	20	210	130	180000
Халькопирит	12	80	30	150	80	510
Антимонит и сульфоантимониты	20—30	75	15	20	500	10—50
Галенит	10—50	8200	—	50	50	100—300
Блеклые руды	10—50	300—1000	40	400	400	30—50
Теллурувисмутит	2900	150	500	>100000	>100000	—
Алтаит	3000	30000	40	>100000	3000	100
Мелонит	1000	150	—	>100000	6200	—
Пирротин	8—10	20	40	10—30	10	—

\* Содержание благородных металлов в рудах приводится по данным пробирного анализа, а в концентратах и минералах — по спектральным и химическим,

теллуrowых рудах — 400—450 г/т (нередко до нескольких кг/т).

Руды месторождения характеризуются повышенными содержаниями ряда других элементов: серебра, висмута, теллура, селена и кадмия. Данные по благородным и редким элементам, по спектральным, химическим и пробирным анализам приведены в табл. 40 (Ш. О. Амирян и др.).

Содержание серебра в сульфидных рудах по штуфным образцам (пробирные анализы) составляет 67,8 г/т, в антимонитовых — 39,6 г/т, золото-теллуrowых — 124,5 г/т (нередко несколько сот г/т). Содержание теллура в смешанных рудах составляет 45—50 г/т. Концентрация теллура и селена в рудах по 52 пробам соответственно составляет 44 и 16 г/т (Н. С. Хачатрян, Б. Д. Акоюян). По данным фабрики, в смешанной (окисленной и сульфидной) руде содержится теллура 28 г/т, а в сульфидной руде — 96,0 г/т (С. С. Акмаева, Т. Н. Зарубенко и др.). Содержание селена в рудах обычно составляет 15—20 г/т. При этом в рудах с преобладанием медных минералов содержание селена составляет 30 г/т, мышьяковых минералов — 50 г/т, а серного колчедана — 20—30 г/т (Ш. О. Амирян). Минералы селена в рудах не установлены, следовательно, он находится в виде изоморфной примеси в сульфидах и теллуридах.

Наивысшая концентрация висмута наблюдается в золото-теллуrowых рудах, где его содержание составляет 0,01—0,43%. В сульфидных рудах содержится висмут 0,001—0,006%, в антимонит-сульфоантимонитовых — 0,003—0,0042%. Висмут установлен как в виде самостоятельных минералов, так и изоморфной примеси в сульфидах, сульфосолях и теллуридах. Содержание висмута в смешанных рудах (по штуфам) колеблется в пределах 0,001—0,006% (Ш. О. Амирян). По данным фабрики (С. С. Акмаева, Т. Н. Зарубенко и др.), в смешанной (полуокисленной) руде установлено висмута 25 г/т. Из сульфидов и сульфосолей высоким содержанием висмута (0,01—0,05%) характеризуются антимонит и сулфоантимониты, а затем идут сфалерит, арсенипирит, халькопирит, пирит и другие.

В смешанных рудах содержание кадмия составляет 0,001—0,005%, в полиметаллических — 0,01—0,02% (иногда 0,12%). Обычно кадмием богаты сфалериты (1—3%), затем галениты и халькопириты (0,01—0,05%). В рудах в незначительном количестве установлены и некоторые другие редкие элементы. Из них индий и галлий присутствуют в качестве примесей в сульфидных рудах. Содержание индия в рудах колеблется в пределах 0,0001—0,01%, а галлия — 0,0001—0,0005%. Сфалериты содержат In—0,0001—

0,003%, Ga—0,003%. В пиритовом концентрате Ga находится в количестве 0,001%. Бериллий установлен в некоторых типах (серицитизированных) пород в количестве 0,0003%. В гранитоидах его содержание доходит до 0,001%. Цирконий, тантал установлены в гранитоидах в количестве 0,01—0,03% и в некоторых типах измененных вмещающих пород в количестве 0,001—0,003% (нередко 0,01—0,1%). Иттрий и лантан в тысячных долях процента установлены в пиритах и сфалеритах.

Сложный и двойственный (золотоносная сульфидная и золото-теллуровая минерализация) характер Зодского месторождения обеспечивает значительные перспективы рудного поля в смысле богатства оруденения и его выдержанности на глубину.

## 2. Меградзорское месторождение

Золоторудное оруденение на Меградзорском месторождении было известно в древности и некоторые участки его разрабатывались, о чем свидетельствуют остатки древних выработок, вскрытых на глубине 25—50 м от поверхности.

Месторождение открыто в 1951 г. А. Г. Мидяном. Разведкой месторождения занимались Н. С. Хачатурян, Г. Т. Айрапетян, М. Г. Гаспарян, Г. А. Синанян, М. Х. Атабекян, Г. Кочарян, М. А. Казарян и др.

В геологическом строении месторождения участвуют палеозойские метаморфические сланцы, меловые, эоценовые и миоплиоценовые, осадочные, вулканогенно-осадочные и вулканогенные породы (песчаники, андезито-базальты), прорванные древними и эоцен-олигоценовыми гранитоидами. Указанные выше породы слагают северо-восточное крыло Мисхано-Арзакандской антиклинали СЗ—ЮВ простирания, по северной окраине которой проходит крупное Мисханское нарушение, приводящее в соприкосновение древние метаморфические породы с меловыми и третичными.

Оруденение представлено кварцево-рудными жилами, прожилками и зонами прожилково-вкрапленной минерализации, заключенными в гидротермально измененных (каолинизированных, серицитизированных и пиритизированных) интрузивных, вулканогенных и метаморфических породах.

Простирание рудных тел близширотное с падением на север, северо-запад и юг под углом 45—70°. Мощность рудных тел колеблется в широких пределах (от 10—15 см до 1,0 м, а в раздувах 1,5—2,0 м). Зоны прожилково-вкрапленной минерализации и гидротермального изменения имеют еще большие протяжения и мощность.

По приуроченности оруденения к резко разновозрастным породам с их характерными структурными особенностями рудное поле делится на две части. Южная часть приурочена к толще метаморфических сланцев с прорывающими интрузиями кварцевых диоритов и их жильных дериватов. В этой части рудные тела имеют северо-западное простирание с падением на юго-запад под углом 50—85°. Северная половина рудного поля приурочена к эоценовым вулканогенным породам с прорывающими интрузиями гранодиоритов, граносиенитов, монцититов и сиенитов, со всей гаммой жильных пород. Здесь зоны гидротермально измененных пород вместе с кварцево-рудными жилами в основном падают по азимуту 310—340° под углом 40—90°. Нередко рудные жилы используют плоскости напластования пород, обычно пересекая их. Часто кварцево-рудные тела залегают в зальбандах даек северо-восточного простирания. По характеру рудоконтролирующие структуры относятся к разрывным и сколовым нарушениям.

На месторождении установлены (Амирян Ш. О., Карапетян А. И., 1964; Амирян Ш. О.) следующие ассоциации минералов: кварцево-полевошпатовая (редкая), кварцевая, кварц-молибденитовая (редкая), халькопирит-борнит-энаргитовая (медно-мышьяковая, редкая), кварц-карбонат-пиритовая (с примесью золота), кварц-карбонат-полиметаллическая (с золотом), кварц-карбонат-золото-теллуровая и кварц-карбонатная (кальцит, анкерит, сидерит).

В составе руд установлены: пирит, арсенопирит, халькопирит, сфалерит, галенит, теннантит, тетраэдрит, висмутин, золото, теллуrowисмутит, алтаит, гессит, петцит, калаверит, креннерит, сильванит, колорадоит, нагиагит, аргентит, виттихенит, эмилектит, кварц, кальцит, сидерит и ряд вторичных минералов (Карапетян А. И., Амирян Ш. О., 1964; Амирян Ш. О., Карапетян А. И., 1964, 1965).

Пробирными, химическими и спектральными анализами и микроскопическими наблюдениями золото установлено в кварц-пиритовом, кварц-карбонат-полиметаллическом и кварц-карбонат-золото-теллуrowом (типах руд. Основная промышленная концентрация золота связана с последними двумя типами.

Рудные тела на 90—95% представлены жильными минералами. Остальные 5—10% представляют сульфиды, теллуриды, сульфосоли, окислы и др.

Отложение золота по сети мелко сходящихся трещинок кварца и сульфидов, а также по определенным кристаллографическим направлениям сульфидов привело к образованию частиц, характеризующихся сложными очертаниями. Преоб-

обладают комковидные, пластинчатые, губчатые, палочковидные формы золотинок. Золото выделялось по трещинкам и границам зерен кварца, карбоната, пирита, халькопирита, сфалерита, блеклых руд, галенита, нередко образуя волосяные прожилочки. По времени отложения оно является более поздним, чем теллуриды. Золотины, по всей вероятности, унаследовали формы тех микроструктур, в которых они выделялись. Только те из них, которые образовались в свободных друзовых полостях или кавернах жильных минералов, имеют характерные формы, обусловленные особенностями роста зерен и агрегатов золота. К последним относятся дендритовидные, веточковидные, ступенчато-пирамидальные формы.

Размер золотинок колеблется в широких пределах — от нескольких микронов до 2—3 мм, но преобладающими являются мелкие классы (меньше 0,5 мм). По результатам рационального анализа 11,5% золота находится в свободном состоянии, 88,5% — в сростках и в соединениях (Синянян Г. А.).

Проба золота высокая. По одному анализу в нем определены: Au—91,31, Ag—6,79, Fe—0,13, Sb—0,06, Se—0,039, Te—0,03, Cu—0,003, As—0,06 и нераств. остаток—2,3 процента. Значительная часть отмеченных элементов в золоте представлена в виде механических примесей, так как в полях крупных выделений золота обычно под микроскопом наблюдаются микровключения сульфидов и теллуридов (пирита, блеклой руды, сильванита, гессита и др.).

В рудах золото распределено весьма неравномерно, местами его содержание доходит до нескольких десятков грамм на тонну (нередко несколько сот г/т). Содержание золота в измененных породах по многочисленным анализам составляет 1—2 г/т, в жилах—от следов до несколько сот г/т (в одной штучной пробе было установлено Au—6936,0 в другой—1169,2 г/т). Содержание серебра в рудах почти в два раза больше (в указанных выше пробах содержится 12036,7 и 1719,3 г/т соответственно) содержания золота.

Меградзорское месторождение состоит из нескольких участков, взаимосвязанных в геологоструктурном отношении. Ниже, по данным экспедиции (Айрапетян Г. Т., Синянян Г. А. и др.), приводится краткая характеристика этих участков.

Ближний участок сложен порфиритами и туффитами эоцена с прорывающими интрузивными породами монцитового и сениитового состава. На участке выявлены пять рудных тел, которые образуют группу параллельных жил и жильных зон близширотного простирания с падением на север, под углом 60—70°. Мощность зон доходит до 10 м, а мощность кварцевых жил колеблется от 0,1, до 2 м.

Содержание золота в зонах прожилково-вкрапленной минерализации по сравнению с кварцево-рудными жилами низко и колеблется от 0,2 до 9,7 г/т.

Кварцево-рудные жилы находятся в зонах гидротермально измененных пород и прослеживаются на расстоянии нескольких сот метров. В сложении кварцево-рудных жил принимают участие пиритовая, полиметаллическая и золото-теллурическая ассоциации минералов. Они наложены друг на друга и развиваются по одним и тем же структурам. В участках наложения установлены весьма высокие содержания золота (до 6936,0 г/т) и серебра (12036 г/т).

Меградзорский участок расположен среди сиенитов и кварцевых диоритов. На участке установлены три зоны гидротермально измененных пород с невыдержанными и убогими кварц-сульфидными прожилками мощностью от нескольких сантиметров до 0,1—0,3 м. Содержание золота в зонах составляет от следов до 13,8 г/т.

**Зона 1** падает на север под углом 30—50°. Мощность зоны 1—1,5 м. В измененных породах зоны содержание золота 1—4,4 г/т.

**Зона 2** простирается в близширотном направлении и падает на северо-запад под углом 30—40°. Среднее содержание золота (24 пробы) составляет 10 г/т. В околожилковых измененных породах с вкрапленной сульфидной минерализацией содержание золота — 2,0 г/т (100 проб).

**Зона 3** падает на северо-восток 10—20° под углом 30°. Мощность зоны колеблется от нескольких сантиметров до нескольких метров. Содержание золота от следов до 13,8 г/т.

**Кабаклинский (Арчасарский) участок.** По своему геологическому строению этот участок несколько отличается от других. Район участка сложен древними метаморфическими сланцами и лейкократовыми гранитами, прорванными интрузиями кварцевого диорита, возраст которых, по радиологическим данным, меловой. На участке широко распространены дайки диабазовых порфиритов и андезито-дациты мн-плюцена.

На этом участке установлены кварцевая, кварц-пиритовая и кварц-карбонат-полиметаллическая ассоциации минералов, развивающиеся в виде четковидных жил и прожилков в зонах гидротермально измененных пород. Содержание золота в зонах составляет от 0,2 до 14,9 г/т (нередко до 39,6 г/т).

**Шакарсарский участок** сложен эоценовыми порфиритами, туффитами и их брекчиями, прорванными интрузивными породами монзонитового, сиенитового и граносиенитового

го составов, а также жильными породами сиенит-порфира, диорит-порфирита и минетт.

Шакарсарский участок является самым перспективным и характеризуется наличием многочисленных зон сильно измененных пород с кварц-сульфидными жилами и прожилками. Наиболее мощные и выдержанные жилы с высоким содержанием золота выявлены на этом участке. Повышенное содержание золота здесь связано с проявлением наложенной золото-теллуровой ассоциации, которая на других участках почти отсутствует.

В пиритовом типе руд участка пробирными анализами определено золото — 13,8 г/т (2 пр.), полиметаллическом — 59,2 г/т (39 пр.) и золото-теллуровом—4052,6 г/т (2 пр.).

Спектральными анализами в концентратах полиметаллических руд установлены: Au, Ag до 2 кг/т, Bi—0,1%, Te—0,1—0,3, Cd—0,01—0,05, Mo—0,003, Zn, Pb, Cu—1, As, Sb—0,3—0,5, Si—3—10, Ca, Mn, Al, Mg, Ti, V—0,01—0,3, Ni—0,001%.

В теллуридовых концентратах установлены: Au, Te до 3%, Ag—3—10, Be—0,0001—0,0003, Sb, Bi, Fe—0,3—0,4, Cu—0,1, Zn—0,03, Pb—3—10, Si, Al, Mg, Ca, Mn, Ni, Ti—0,003—0,1%.

В табл. 41 приводятся результаты спектральных и химических анализов мономинеральных проб на редкие и благородные элементы (Ш. О. Амирян) из Шакарсарского участка.

Оруденение на участке контролируется главным образом дайками сиенит-порфира и лампрофиров. Кварцево-рудные тела проявляются как в лежащем, так и в висячем боку даек. Наряду с крупными жилами № 1, 2 и 3, выявлены многочисленные мелкие прожилки, несущие золото. Золотоносными являются как пиритовые, так и полиметаллические и теллуридовые ассоциации минералов. Обычно они проявляются совместно, в результате чего жилы приобретают сложное строение.

В приконтактных частях кварцево-рудных жил породы сильно изменены: каолинизированы, серицитизированы, хлоритизированы и пиритизированы. Мощность измененных пород составляет 10—20 м (в редких случаях, в узловых частях до 200 м). Мощность рудоносной части зон доходит до 8 м. Контакты зон в одних случаях резкие с глиной трения, в других—постепенные.

**Жила № 1** прослеживается в северо-восточном направлении, падая на северо-запад 310—330°, под углом 45—50°. Жила с раздувами и пережимами. Мощность жилы в раздувах доходит до 0,5 м. По контактам жилы породы сильно изменены и перетерты. Мощность глины составляет 5—20 см.

По простиранию жила разветвляется. Боковые ответвле-



ния на небольшом удалении выклиниваются. В минеральном составе жилы преобладает пиритовая ассоциация. Содержание золота по сравнению с другими жилами низкое и в редких случаях достигает 10 и более г/т.

**Жила № 3** находится в зоне брекчирования и изменения пород. На поверхности жила представлена перетертыми, ожелезненными породами, включающими брекчии кварца и, редко, сульфидов. Мощность жила на поверхности составляет 1,0—1,5 м, с содержанием золота—0,6—5,4 г/т. При мощности зоны 1,6 м содержание золота составляет 0,6—5,45 г/т, а серебра—4,6—15,0 г/т.

Кроме описанных жил, на Шакарсарском участке установлены еще и другие жилы, прожилки и зоны прожилково-вкрапленной минерализации. Все они расположены параллельно друг другу и имеют северо-восточное простирание и падают на северо-запад под углом 50—60°. Мощность таких зон составляет 1—5 м. Содержание золота в них составляет 0,8—3,2 г/т.

Зарский участок является продолжением Арчарсарского. Здесь вскрыты шесть кварцевых жил и прожилков с простиранием на северо-запад и падением на юго-запад 190—210°, под углом 40—55°. Некоторые из этих жил прослеживаются на несколько сот метров при мощности до 1 м. Но они характеризуются низким содержанием золота, которое доходит до 2,0 г/т.

Новый участок расположен в метаморфических породах. Здесь золоторудная минерализация приурочена к полосе гидротермально измененных пород северо-восточного простирания. Содержание золота на участке по немногочисленным анализам доходит до 18,9 г/т, но обычно низкое.

Золото, кроме коренного залегания, установлено и в аллювиальных отложениях р. Мармарик и ее притоков, стекающих с различных участков месторождения. Общая длина россыпей от с. Ахундово до с. Мармарик составляет 9 км. Ширина долины в этом интервале местами достигает 600 м. В россыпях, по данным шлихового опробования, имеются участки с содержанием золота от 0,29 до 0,75 г/м<sup>3</sup> (Г. И. Гольденберг).

Судя по имеющимся минеральным ассоциациям, приуроченности их к различным структурам и их возрастным взаимоотношениям, трещинообразование и рудоотложение на Меградзорском месторождении происходило в результате нескольких тектонических импульсов. Вновь выявленные и редкие кварц-молибденовая и медно-мышьяковая ассоциации минералов, по-видимому, несколько оторваны по времени образо-

вания от остальных. Это типичные для Анкаванского медно-молибденового месторождения ассоциации, проявляющиеся здесь очень слабо.

Собственно рудный процесс, в свете новых данных, происходил в следующих стадиях минерализации: кварцевой, кварц-пиритовой, кварц-карбонат-полиметаллической, золото-теллуровой и кварц-карбонатной. Золотоносными являются пиритовая, полиметаллическая и золото-теллуровая ассоциации. Основные промышленные концентрации золота и редких элементов связаны с полиметаллическими и золото-теллуровыми типами руд.

Характерными типами изменения пород на месторождении являются пропилитизация и аргиллизация. Пропилитизация имеет площадное развитие и выходит за пределы распространения рудных жил, а аргиллизация представлена мощными зонами (до 10—15 м), прослеживающимися на 450—500 и более метров, к которым приурочены кварцево-рудные жилы. Зоны аргиллизации интенсивно развиты вдоль разрывных нарушений и контактов пород (вдоль даек сиенит-порфира, граносиенит-порфира, минетт или же контактов граносиенита с порфиритами).

Последовательное развитие альбитизации, эпидотизации, хлоритизации, пиритизации и окварцевания (смена сильных оснований слабыми) указывают на возрастание кислотности растворов по мере развития рудного процесса. Отложение сначала серицита, а затем каолинита, показывает, что растворы вначале были щелочными, а позже становились кислыми. Завершение рудного процесса с образованием карбонатных и кварц-карбонатных жил и прожилков происходит в условиях пониженной кислотности и нейтрализации растворов.

Характер гидротермальных изменений пород и ассоциации минералов в различных стадиях минерализации показывает, что разные периоды дифференциации и остывания магматического очага характеризовались выделением различных по составу порций гидротермальных растворов.

Концентрация таких элементов, как медь, цинк, сурьма, мышьяк, висмут, серебро, золото и другие, в растворах возрастает от кварцевой стадии к полиметаллической. Концентрация золота, теллура, висмута, ртути и серебра достигает своего максимума в золото-теллуровой стадии.

Имеющиеся литературные данные (В. Н. Котляр, 1958; А. Т. Асланян, 1958) показывают, что мощность надрудной крыши пород в момент рудообразования, составляла 550—600 м, что указывает на принадлежность месторождения к образованиям малых глубин (приповерхностных).

Характер гидротермальных изменений пород (пропилити-

зация и аргиллизация), ассоциации рудных минералов (в основном полиметаллическая и золото-теллуровая), наличие в рудах анизотропного гессита и двойных солей, в частности  $\text{Cu}_2\text{S}$  и  $\text{Bi}_2\text{S}_3$ ,  $\text{Cu}_2\text{S}$  и  $\text{As}_2\text{S}_3$ ,  $\text{Cu}_2\text{S}$  и  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ , низкие содержания железа в сфалерите и другие факты свидетельствуют о средних температурах рудообразования.

Пересечение жильных пород: гранит-порфиров, сиенит-порфиров, кварцевых сиенит-порфиров и минетт с абсолютным возрастом 27—34 млн. лет, кварцево-рудными жилами говорят о посленижнеолигоценовом возрасте оруденения и генетической связи его с очагом субщелочной магмы.

Все вышеизложенные данные позволяют Меградзорское месторождение считать одним из перспективных объектов на золото, серебро, теллур и висмут.

### 3. Личквасское месторождение

Личквасское золото-сульфидное месторождение открыто Мегринской экспедицией УГ Армянской ССР (начальник экспедиции С. А. Геворкян). В разведке месторождения активное участие принимали Г. И. Гольденберг, Л. С. Габриелян, Г. А. Тунян, С. А. Мелян, Р. С. Чухаджян и др. Изучением геологии рудного поля занималась также Зангезурская база ИГН АН Армянской ССР во главе с К. А. Карамяном.

Личквасское месторождение золото-сульфидных руд находится в пределах развития интрузивных пород Мегринского плутона. Район месторождения сложен эоценовыми вулканогенными породами (эпидотизированными порфиритами, их туфами и туфобрекчиями), прорванными гранодиоритами, кварцевыми диоритами, габбро-диоритами и малыми интрузиями гранитов, гранит-порфиров, а также их жильными дериватами: аплитами, дисрит-порфиритами, диабазовыми порфиритами и лампрофирами.

В структурном отношении месторождение приурочено к висячему боку регионального Дебаклинского разлома, проходящего в северо-западном направлении по западному флангу месторождения с падением на восток—северо-восток под углом 60—70°. Рудовмещающими являются оперяющие Дебаклинский разлом трещины разрыва близширотного, северо-восточного и северо-западного простирания.

Личквасское месторождение состоит из двух участков: Личквасского и Тейского, несколько отличающихся друг от друга характерными особенностями рудных тел, их количественным и качественным минеральным составом и схемой стадийного развития рудного процесса.

Проведенные наблюдения над рудными телами и их взаимоотношениями, а также минералогическое и геохимическое изучение различных типов руд позволяют в их образовании выделить следующие стадии минерализации: безрудная кварцевая, пирит-халькопиритовая, полиметаллическая и кварц-карбонатная, гипсовая на участке Личквас и безрудная кварцевая, пирит-халькопиритовая, полиметаллическая, кварц-арсенопиритовая (низкотемпературная) и кварц-карбонатная на участке Тей.

Безрудная кварцевая стадия является общей для обоих участков. Мощность кварцевых жил различна и доходит до 0,5—0,7 м. Жилы сложены массивным крупнозернистым кварцем с включениями вмещающих пород.

Кварц-пирит-халькопиритовая стадия минерализации представлена на обоих участках. На Личквасском участке она приурочена в основном к структурам СВ простирания, падающим на ЮВ 140—150°, под углом 65—80°. На Тейском участке пирит-халькопиритовые тела залегают согласно с зонами брекчированных и измененных пород СВ (10—15°) простирания, с падением на СЗ, под углом 60—80°.

В минеральном составе описанных руд на Личквасском участке, кроме пирита и халькопирита, участвуют: сфалерит, блеклые руды и галенит. Роль последних минералов возрастает в местах наложения полиметаллической стадии минерализации.

На Тейском участке, кроме перечисленных минералов, в составе пирит-халькопиритовых руд участвуют также висмутин, козалит, виттихенит, тетрадимит, теллурвисмутит и пирротин.

Околорудные изменения, сопровождающие пирит-халькопиритовую стадию, выражены серицитизацией и хлоритизацией пород, свидетельствуют о щелочности растворов.

В пирит-халькопиритовых рудах Личквасского участка, кроме железа и меди, в штуфах установлены: золото—до 1,7 г/т, а в местах наложения полиметаллической минерализации до 4,2 г/т, серебро—10—15 г/т, нередко до 105—110 г/т, висмут—0,002—0,008%, а в аналогичных рудах Тейского участка установлены: Вi—0,023—0,045%, селен и теллур — 0,0026 — 0,008% и 0,006—0,06% соответственно, галлий — 0,0003—0,001%, золото—2,17 г/т, Ag—33,4 г/т.

Полиметаллическая стадия минерализации широко развита на Личквасском участке. Образует она четковидные жилы, приуроченные главным образом к трещинам разрыва с азимутом падения 330—340° и 170—180° и углом падения 50—85°.

На Тейском участке этот тип минерализации совместно с другими приурочен к зонам дробления и смятия пород, развиваясь по трещинам отрыва.

В минеральном составе полиметаллических руд участвуют пирит, халькопирит, сфалерит, блеклая руда, галенит, золото и, в редких случаях, киноварь.

Количественное соотношение минералов и интенсивность минерализации на Личквас-Тейском месторождении меняются в различных жилах и на разных горизонтах, а также при переходе жил из одних пород в другие. На Личквасском участке в рудах верхних горизонтов преобладает блеклая руда, при этом ассоциирующей с ней сфалерит здесь более светлый и маложелезистый.

В полиметаллических рудах содержание золота колеблется в пределах от 1,0 до 27,0 г/т, серебра — от 5,1 до 233,8 г/т (редко 1235,3 г/т) для Личквасского участка и 65,8 г/т, 555,5 г/т соответственно для Тейского участка, висмута—0,008—0,05%, селена и теллура—0,002—0,004% и 0,006—0,02% соответственно, кадмия—0,013—0,14% и галлия—0,001% (для обоих участков).

Кварц-арсениопиритовая стадия минерализации проявлена только на Тейском участке. Она представлена прожилками обычно небольшой мощности и гнездами в окварцованных измененных породах рудных зон.

В минеральном составе арсениопиритовых руд преобладает низкотемпературный, тонкозернистый, призматический арсениопирит. Кроме арсениопирита, в отмеченных рудах в небольших количествах присутствуют также пирит, сфалерит, халькопирит, блеклая руда и галенит.

В арсениопиритовых рудах химическими и пробирными анализами определены: золото — до 63,1 г/т, серебро—97,8 г/т, селен — 0,002% и теллур — 0,004%.

Кварц-карбонатная и гипсовая минерализация в виде небольших секущих прожилков представлена на Личквасском участке, а кварц-карбонатная минерализация — также на Тейском.

Золото в рудах месторождения представлено выделениями самородных частиц, размером 0,001—0,5 мм. К фракции + 0,3 мм и более принадлежит 60,2% золота, 81% золота находится в свободном состоянии и извлекается амальгамацией, т. е. только 19% золота, по-видимому, находится в тонкодисперсном виде в сульфидах и жильных минералах и после дробления соответствующего класса остается связанным с ними и не поддается амальгамации.

На месторождении выявлено (Г. И. Гольденберг и др.;

Г. А. Тунян и др.) несколько золоторудных жил (Личкваз) и зон (Тей), описание которых приводится ниже.

Жила № 1, как и нижеописанные, залегает среди габбро-диоритов в экзоконтактовых порфиритах. Жила принадлежит к полиметаллическим. В составе руд установлены пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, теннантит, тетраэдрит, золото, марказит и другие минералы.

Содержание золота на одном интервале жилы составляет 27,0 (42 пробы), Ag—56,8 г/т, на другом интервале (15 проб)—Au—3,0, Ag—62,8 г/т. Жила подсечена скважиной на глубине 147,6—148 м, где содержание золота составляет 3,6, Ag—5,5 г/т.

Жилы № 2 и 3 имеют СЗ простирание с падением на СВ—20° под углом 80—85° жила № 2 и 40°—жила № 3. Мощность жил 0,1—0,3 м. Содержание золота в них 1,0—2,4 г/т, серебра—1,5—10,1 г/т. Жилы сложены кварцем, карбонатом, пиритом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом, блеклой рудой и золотом.

Жилы № 7, 8 и 9. Жилы № 7 и 9 имеют СВ простирание с падением на ЮВ—120—160° под углом 80—85°, а жила № 8 падает на СЗ 335° под углом 70°. Мощность жил 0,2—0,8 м. В жилах содержание золота 4,4—15,1 г/т, Ag—5,1—233,8 г/т (редко до 1235,3 г/т). Жилы полиметаллического состава. В составе руд установлены пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, блеклая руда, золото, кварц и карбонат.

На Тейском участке золото приурочено к кварцево-рудным жилам и зонам прожилково-вкрапленной минерализации, залегающих среди порфиритов, гранодиоритов, кварцевых диоритов и габбро-диоритов.

На участке установлены четыре зоны мощностью от 2 до 15 м. Зоны имеют СВ простирание и СЗ падение, с углом падения 60—80°.

Первая зона находится в гранодиоритах и порфиритах. Представлена она сильно измененными породами с кварц-сульфидными жилами, прожилками и вкрапленностью. В сложении жил и прожилков участвуют пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, блеклая руда, висмутин, арсенопирит, козалин, золото, тетрадимит и другие минералы, принадлежащие к различным стадиям минерализации.

Золото в основном находится в кварц-сульфидных жилах. Одна жила, мощностью 0,3 м, содержит золота 1,6 г/т, Ag—33,4 г/т, другая, мощностью 0,2 м, содержит Au—10,7, Ag—12,6 г/т. Висячем и лежащем боках зоны находятся боковые апофизы мощностью 0,4—0,5 м и с содержанием золота 2,5—13,0 г/т.

В отдельных местах зоны наблюдаются богатые медью

участки, где содержание золота не превышает 1,0 г/т, это значит, что основная часть золота связана с полиметаллическим и арсенопиритовым типами руд.

Вторая зона прослеживается в СВ направлении и падает на СЗ под углом 70—85°. Мощность зоны 4—5 м. В призальбандовых участках зоны согласно с ней залегают две кварц-сульфидные жилы мощностью 0,15—0,18 м с содержанием золота 2,0—22,3, серебра — 12,2—173,0 г/т. Рудная минерализация в зоне представлена пиритом, халькопиритом, арсенопиритом, сфалеритом, блеклой рудой, галенитом и другими сульфидами и сульфосолями.

Третья зона имеет аналогичные элементы залегания, как и вторая. В ней находится кварцево-рудная жила мощностью 0,1—0,4 м с полиметаллической минерализацией. На глубине жила раздваивается и проходит по контактам зоны. Жила характеризуется неравномерным распределением золота. На 110-метровом интервале жила мощностью 0,4 м содержит золота 4,4 г/т, серебра — 37,6 г/т, а на 16-метровом интервале содержание золота составляет 20,9, Ag—38,5 г/т.

Приведенные данные показывают, что золото в главной своей массе связано с полиметаллической стадией минерализации и в местах ее развития характерны высокие его содержания.

Полиметаллические жилы и жильные зоны с золотом выявлены также на участке Варданазор, Таштун и Ванк. Мощность жил на этих участках составляет 0,1—0,8 м с содержанием золота от следов до 49,3, серебра—1,0—251,9 г/т.

Золоторудное проявление Варданазор находится в кварцевых диоритах, гранодиоритах, гранодиорит-порфирах и диорит-порфиритах. На участке обнажается зона гидротермально измененных кварцевых диоритов мощностью от 17 до 50 м. В ней установлены шесть кварцевых золоторудных жил, мощностью от 0,15 до 0,5 м. Содержание золота в жилах колеблется от 0,2 до 49,3 г/т, Ag—3,9—251,9 г/т. В измененных породах призальбандовой полосы содержится Au—0,3—1,0 г/т.

В другой зоне, западнее развалин с. Варданазор, в гранодиоритах залегают кварцевые золотоносные жилы мощностью от 0,2—0,3 м до 1—3 м. Содержание золота в жилах колеблется от 1 до 5, а серебра — 58 г/т. В измененных гранодиоритах содержание золота достигает 1,0 г/т. Район золоторудного проявления заслуживает дальнейшего изучения.

На участке Таштун штольной подсечены две жилы кварц-карбонат-полиметаллического состава мощностью 0,6—0,7 м с содержанием золота — 0,2, серебра — от 2,7 до 12,4 г/т.

Приуроченность оруденения к висячему боку Дебаклин-

ского разлома и оперение рудоконтролирующих структур от этого разлома позволяют предполагать, что рудоотложение происходило в связи с образованием этого крупного нарушения.

Интенсивное изменение боковых пород вдоль рудоконтролирующих структур, их разнообразие и масштабы указывают что рудоносные растворы были весьма подвижны, химически активны и разнохарактерны. Насыщенность растворов разными элементами в различных стадиях была различной, что видно по минеральному составу отдельных типов руд.

Ассоциации минералов и их количественное соотношение, характер гидротермальных изменений, отсутствие структур распада и колломорфных образований, а также характер заполнения рудным веществом разрывных структур и приуроченность оруденения к породам, обладающим чертами формирования на умеренной глубине, позволяют месторождение отнести к умеренносulfидным, образованным при средней температуре и на умеренной глубине.

Месторождение, судя по приведенным данным, имеет довольно большие перспективы.

#### 4. Амзачиманское месторождение

Разведкой Амзачиманского месторождения занимались Э. М. Мадатян, Б. С. Саркисян, К. Р. Варданян, Э. Ш. Овсепян, Р. Гекчян, Р. Г. Харатян, Дж. Г. Чатинян, Р. А. Мартиросян, Г. О. Цовян, Г. И. Гольденберг, С. Г. Матинян, Ф. Г. Шамцян и многие другие геологи Управления геологии Армянской ССР.

Оруденение представлено измененными (серицитизированными, хлоритизированными, каолинизированными) пиритизированными зонами и жилами среди порфировидных граносиенитов, прорывающих вулканогенную толщу эоценового возраста. Абсолютный возраст интрузивных пород составляет в среднем  $38 \pm 2$  млн. лет (Г. П. Багдасарян, 1966).

Рудоконтролирующими структурами являются трещины оперения крупных разрывных нарушений, приуроченных к Агстевской антиклинали. Указанные структуры в граносиенитах унаследовали элементы внутренней тектоники массива, нередко выходя за пределы интрузивных пород, охватывая экзоконтактовые порфириды.

Рудные тела характеризуются пологим южным падением. Кроме пологопадающих зон, в последние годы выявлены (Мадатян Э. М. и др., Шамцян Ф. Г., Саакян Г. Г.) более мощные и выдержанные крутопадающие зоны, приуроченные к Маймех-Мегрутскому нарушению широтного простирания.

На месторождении установлено 15 зон мощностью более одного метра и ряд маломощных зон, жил и апофиз.

В рудах установлены: пирит, арсенопирит, борнит, висмутин, галенит, халькопирит, шеелит, вольфрамит, сфен, золото, ряд вторичных минералов, развивающихся по ним. В последние годы кроме перечисленных минералов в рудах обнаружены: калаверит, сильванит, петцит, гессит, теллуровисмутит, алтаит, пирротин, марказит и киноварь (Ш. О. Амирян, 1966, 1968). На отдельных участках с редкими пегматитовыми телами связаны включения ортита.

В свете новых данных намечается следующая схема стадийности в рудообразовании: безрудная-кварцевая, кварц-молибденитовая, кварц-карбонат-шеелитовая, кварц-карбонат-полиметаллическая (с Au, Ag, V и Te) и безрудная карбонатная. Золотоносность руд связана с двумя средними стадиями минерализации: кварц-карбонат-шеелитовой и кварц-карбонат-полиметаллической.

Золото представлено главным образом тонкодисперсными частицами, размер которых не превышает 0,5 мм. Только 25 — 30% золота в рудах находится в свободном состоянии и извлекается гравитацией. Обычно оно образует микроскопические прожилочки и включения в полях теллуридов и сульфидов.

Характерными типами изменения пород на месторождении являются серицитизация, хлоритизация, окремнение и пиритизация. На верхних горизонтах рудных тел широким развитием пользуется каолинизация.

Порфиоровидная структура граносиенитов и небольшая мощность надинтрузивной покрывки, непосредственная связь эффузивных и интрузивных щелочных комплексов, а также некоторые петрохимические особенности пород свидетельствуют о малых глубинах становления интрузии, а следовательно, и связанной с ней рудной минерализации. Характер же гидротермальных изменений, минеральный состав руд и структурно-текстурные особенности позволяют говорить о средне-низкотемпературных условиях рудообразования. Возраст оруденения считается посленижнеолигоценным, так как рудные жилы секут породы эоцен-нижнеолигоценного возраста.

По территориальному признаку выделяется (Мадатян Э. М. и др.) несколько участков месторождения: «Муравятник», «Акопи-джур», «Цклаки-ахпюр», «Малый гилут». На участке «Муравятник» в массиве порфиоровидных граносиенитов выделены 8 зон гидротермально измененных пород с золото-шеелитовым оруденением, среди которых наиболее полно изучены зоны 3 и 4. Ниже приводится описание этих и других зон по данным разведки (Э. М. Мадатян и др.; Ф. Г. Шамцян, Г. Г. Саакян).

Третья зона находится в граносиенитах. Мощность зоны варьирует в пределах 1,5—10,0 м, падение юго-восточное 160—180° под углом 25—30°. По контактам зоны расположены кварцево-рудные жилы с убогой сульфидной минерализацией. Между жилами порода пронизана тонкими прожилками и включает вкрапленность кварца, пирита и, редко, халькопирита, галенита и блеклой руды. По данным химического анализа 33 бороздовых проб, среднее содержание золота в зоне составляет 5,5 г/т, Ag—5,8 г/т,  $WO_3$ —0,14%.

Четвертая зона. Мощность зоны 2,2—2,8 м, падение юго-восточное 170—180° под углом 25—30°. Среднее содержание металлов, по данным 23 бороздовых проб, составляет: Au—2,3 г/т, Ag—7,7 г/т,  $WO_3$ —0,49%.

На участке «Акопи-джур» среди порфировидных граносиенитов выделены три зоны гидротермально измененных пород мощностью 2,5—10 м. Падение зон юго-западное 200—210° под углом 25—55°. Содержание золота в «Главной» зоне на поверхности низкое и составляет—0,43—1 (иногда 3—3,8 г/т) В штольне № 9, в лежащем боку зоны, находится кварц-карбонат-сульфидная жила мощностью 7—10 см с высоким содержанием золота—137,9 г/т. На 110 м интервале содержание золота составляет 20,9 г/т при мощности 2,0 м. На глубине зона подсечена скважиной. Мощность зоны 0,8 м с содержанием металлов Au—15, Ag—46,9 г/т. В зоне «Отблеск» содержится: Au—1,0, Ag—18,0 г/т, а в зоне «Верхняя»—золото—1,0, Ag—36,9 г/т.

Крутопадающие зоны мощностью в несколько десятков метров установлены на Фиолетовском участке. В общей зоне катаклазированных пород установлены участки прожилково-вкрапленной минерализации с содержанием золота 0,6—37,8, Ag—6,6—42,7 г/т. В участках убогой сульфидной минерализации содержание золота составляет 1,3—1,5 г/т.

Коренные выходы гидротермально измененных пород с золото-шеелитовым оруденением были вскрыты и между участками «Цклаки-ахпюр» и «Малый гилут». Мощность зоны 1,5 м, падение на юго-восток 220° под углом 30°. Содержание золота в них доходит до 1,8 г/т.

Кроме участков коренного залегания золота, выделяются также участки россыпного золота «Муравятник», «Акопи-джур», «Малый гилут», «Спитак-джур», «Цклаки-ахпюр», «Большой гилут» (русловые россыпи) общей длиной 1—1,5 км при ширине 20—30 м, с содержанием золота 0,04—0,45 г/м<sup>3</sup>. Долинные и террасовые россыпи развиты по р. Агстев, общей протяженностью 8,5 км с содержанием золота 0,90—1,56 г/м<sup>3</sup>,

иногда достигающим  $2,9 \text{ г/м}^3$ , шеелита —  $154\text{—}982 \text{ г/м}^3$  и ортита —  $0,4\text{—}10 \text{ кг/м}^3$  песка.

В рудах, кроме золота, серебра и вольфрама, содержатся: селен —  $0,002\text{—}0,003\%$ , теллур —  $0,002\text{—}0,0035\%$ , висмут — сл. —  $0,0097\%$  (нередко  $0,18\text{—}0,2\%$ ), галлий —  $0,001\text{—}0,003\%$ . В пиритовом концентрате определен висмут —  $0,003\text{—}0,1\%$ . В полиметаллическом концентрате содержится  $\text{Te}$  —  $0,01\text{—}0,2\%$ .

Дальнейшее исследование гидротермально измененных зон, особенно крутопадающих, должно вестись на глубоких горизонтах и флангах. Перспективы месторождения полностью не выяснены и требуют дополнительных исследований.

Руды представляют комплексный интерес на  $\text{Au}$ ,  $\text{Ag}$  и  $\text{W}$  (местами также  $\text{Te}$ ,  $\text{Bi}$ ).

### 5. Сарнахпюрское (Назыр-юртское) проявление

Рудопроявление находится в пределах Анкаванского рудного поля в  $1\text{—}1,5 \text{ км}$  к юго-востоку от селения Анкаван. Специальные работы по изучению минералогии и геохимии руд проводились А. И. Карапетяном, Н. С. Хачатряном и Б. Д. Акопян.

Оруденение представлено кварцевыми жилами и зонами, залегающими в сильно пиритизированных кварцевых диоритах. Рудные минералы в кварцевых жилах представлены тетрадимитом, теллуrowисмутитом, калаверитом, жозеитом, арсенопиритом, пиритом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом, борнитом, блеклой рудой, аргентитом, самородным золотом и другими минералами. Из вторичных минералов развиты лимониты, теллуrowые и висмутовые охры (монтанит) и др.

В пробе, отобранной по всей мощности жилы «Северной», установлены:  $\text{Bi}$  —  $0,076$ ,  $\text{Te}$  —  $0,057\%$ ,  $\text{Au}$  —  $2$ ,  $\text{Ag}$  —  $35,2 \text{ г/т}$ .

В чисто отобранном тетрадимите ( $\text{Bi}$  —  $59,81$ ,  $\text{Te}$  —  $35,10$ ,  $\text{S}$  —  $4,20\%$ ) установлено:  $\text{Se}$  —  $0,44$ ,  $\text{Ag}$  —  $0,1\%$ . В рудном концентрате, состоящем из тетрадимита, пирита и других минералов, спектральным анализом установлено:  $\text{Ge}$  —  $3 \text{ усл. ед.}$ ,  $\text{Ga}$  —  $0,003\%$ ,  $\text{Cd}$  —  $0,003\text{—}0,01$ ,  $\text{Ag}$  —  $0,1$ ,  $\text{W}$ ,  $\text{Mo}$  до  $0,01\%$ ,  $\text{Bi}$ ,  $\text{Te} > 10\%$  (А. И. Карапетян).

По данным бороздowego опробования, на поверхности содержание золота колеблется от следов до  $6 \text{ г/т}$  (данные Н. С. Хачатряна и Б. Д. Акопян).

### 6. Дилижанское месторождение россыпного золота

Район месторождения охватывает бассейн верховьев р. Агстев вплоть до слияния с ней левого притока Агарцин (у с. Куйбышев).

О наличии золота в бассейне р. Агстев было известно еще в 1806—1808 гг. В 1851 г. между гор. Дилижаном и р. Блдан были выявлены россыпи, которые с перерывами разрабатывались старателями. В 1935 г. Г. Эристави указал на несколько участков коренного залегания золота, питавших россыпи бассейна р. Агстев (ущелья р. Головинки, Армянская балка, Русская балка, Фролова балка, Амзачиманское проявление и Тандзутское серноколчеданное месторождение). Некоторые из указанных участков Амзачиманского месторождения в настоящее время являются объектами разведочных работ. В 1944—1945 гг. месторождение изучалось С. С. Асламазовой, А. С. Горбаченко и Т. М. Степаняном.

Россыпи протягиваются на 5 км при ширине 25—50 м и мощности пласта не более 3 м. Золото встречается в речных песках и галечниках в различных формах. Размер золотины не превышает 1—2 мм, преобладают мелкие фракции, меньше 1 мм. Вес золотинок очень редко превышает 50—100 мг. В одном случае был найден самородок весом 146 г. Проба золота в пределах 720—960. Содержание золота в песках колеблется от 90 мг/м<sup>3</sup> до 10 г/м<sup>3</sup> породы.

В россыпях золото ассоциирует с кварцем, магнетитом, гематитом и нередко с пиритом.

Россыпное золото района Дилижана связано с участками окварцованных гидротермально измененных и оруденелых пород, которые установлены вдоль Маймех-Меграутского нарушения.

\* \* \*

Наряду с золотом в рудах золоторудных месторождений установлены повышенные содержания серебра, висмута, теллура, селена, кадмия, нередко вольфрама, олова, ртути и индия, представляющие определенный интерес.

В различных минеральных типах руд Зодского месторождения содержание золота различно и в среднем составляет 10, 22—13,3 г/т, в отдельных типах достигая 400 и более г/т. При этом наиболее высокие концентрации (463,2 г/т) установлены в золото-теллурическом типе руд. За ним следуют пирит-арсенипиритовые (43,32 г/т) и полиметаллические (19,0 г/т). Низким содержанием характеризуются антимонитовые руды, где золото связано с низкотемпературным арсенипиритом и пиритом. В антимонитовых концентратах и антимоните золото практически отсутствует или находится в виде следов, а в пирите и арсенипирите содержится 100—200 г/т.

Высокие концентрации (до 3 кг/т) золота установлены в теллуридах (тетрадимит, теллурависмутит, мелонит, алтаит и

др.), арсенопирите (130 г/т), пирите (110 г/т), блеклой руде (150 г/т) галените (100 г/т) и вторичных минералах теллура (12,8 кг/т).

На Зодском месторождении в различных минеральных типах руд содержание серебра по пробирным анализам штуфов составляет от 39,6 до 124,5 г/т. В арсенопиритовом концентрате установлено серебра 180 г/т, в полиметаллическом — 300 г/т, а в золото-теллуrowом — 9000 г/т. В отдельных минералах концентрация серебра колеблется в пределах от 20 (в пирротине) до 30000 г/т (в алтаите). По мере повышения концентрации серебра в минералах их можно расположить в следующие ряды: пирротин-пирит-арсенопирит-халькопирит-сфалерит-блеклая руда-галенит и мелонит-теллуrowисмутит-алтаит-теллуриды золота и гессит, что соответствует последовательности их выделения, т. е. с понижением температуры образования минералов концентрация серебра в них повышается.

Содержание теллура в минеральных типах руд по штуфам составляет от 40 до 4200 г/т. Самые высокие содержания его установлены в золото-теллуrowых рудах, где он присутствует в виде разнообразных теллуридов золота, серебра, висмута, свинца, ртути, никеля и меди. В полиметаллическом концентрате его содержание составляет 320 г/т, в арсенопиритовом — 370 г/т, золото-теллуrowом — 4,3 кг/т. В сульфидах установлен теллур в количестве от 20 до 400 г/т. Теллур также концентрируется в средних стадиях рудного процесса, а в отдельных стадиях — в конце. В связи с тем, что он находится в рудах в виде минералов, распределение теллура является весьма неравномерным. Эта особенность проявляется и в минералах.

Роль селена в рудах ничтожна. В силу сродства и близких химических свойств серы, селена и теллура, селен концентрируется в сульфидах и теллуридах в виде изоморфной примеси. Химическими анализами селен установлен почти во всех типах руд. Наивысшими содержаниями селена (70 г/т) характеризуются золото-теллуrowые руды, за ними следуют пирит-арсенопиритовые — (50—52 г/т), полиметаллические (10 г/т) и антимонитовые (5—7 г/т). В соответствующих концентратах содержание увеличивается почти в два раза. Как видно, за исключением золото-теллуrowых руд концентрация селена понижается с понижением температуры. В сульфидах содержание селена варьирует в пределах 15—150 г/т, в среднем 40 г/т. Только в теллуrowисмутите содержание селена достигает 500 г/т.

Висмут в рудах Зодского месторождения является одним из промышленных компонентов. Он установлен почти во всех типах руд. Представлен как в виде собственных минералов

(самородного висмута, висмутина, теллуrowисмутита, тетрадимита и др.), так и изоморфной примеси в сульфидах и сульфосолях.

Довольно высокие концентрации (до 4,3 кг/т) висмута спектральными и химическими анализами установлены в золото-теллуrowых рудах. В сульфидных рудах содержание висмута составляет в среднем 50—55 г/т. Основная масса висмута концентрируется в средних стадиях рудного процесса и с понижением температуры повышается. В главных рудообразующих минералах содержание висмута колеблется в пределах 10—500 г/т. Параллельно последовательности выделения сульфидов концентрация висмута в них повышается, а в золото-теллуrowых рудах — наоборот.

Кадмий в рудах представлен исключительно в виде изоморфной примеси. Основная масса кадмия связана со сфалеритом, поэтому его наибольшая концентрация (200 г/т) установлена в полиметаллических рудах. В связи с тем, что сфалерит участвует также в арсенопиритовых рудах, в них тоже отмечаются повышенные содержания (50 г/т) кадмия. Среди минералов высоким содержанием кадмия характеризуются: сфалерит (18 кг/т), халькопирит (510 г/т), галенит (100—300 г/т) и арсенопирит (80 г/т). В остальных сульфидах содержится 20—50 г/т кадмия.

Кроме описанных элементов, руды характеризуются небольшими содержаниями индия, олова, ртути, галлия, германия, не представляющими особого интереса.

Руды Меградзорского месторождения характеризуются (Ш. О. Амирян) высокими и повышенными концентрациями золота, серебра, висмута, теллура, селена и кадмия. В медно-мышьяковых рудах высоко содержание также германия. Но последние представляют только минералогический интерес.

В рудах содержание золота в среднем составляет 16,0 г/т. В отдельных минеральных типах оно колеблется в пределах от 13,8 до 4,05 кг/т, при этом наивысшие концентрации установлены в золото-теллуrowых рудах, а низкие — в пиритовых. Среди минералов высокими и повышенными концентрациями характеризуются: теллуриды (до нескольких десятков кг/т), блеклая руда (1 кг/т), галенит (320 г/т), халькопирит (100—480 г/т), пирит (280 г/т), сфалерит (80 г/т) и др.

В штуфах различных минеральных типов руд пробирным анализом установлены следующие концентрации серебра: в пиритовом типе — 15—40 г/т, полиметаллическом — 161,1 г/т, золото-теллуrowом—6,8 кг/т, молибденитовом—50 г/т, медно-мышьяковом—800 г/т (в последних двух — по данным спектрального анализа). Таким образом, концентрация серебра по-

вышается в последних стадиях минерализации. В концентратах содержание серебра повышается в два-пять раз.

Среди минералов самые высокие содержания серебра установлены в теллуридах, блеклой руде (8,25%) и галените (0,1%). В пирите, халькопирите и сфалерите содержание серебра составляет 130—170 г/т. Концентрация серебра в минералах отдельных стадий минерализации повышается в последовательности их выделения.

Теллур — один из главных компонентов руд. Содержание теллура в отдельных минеральных типах руд изменяется следующим образом: в пиритовых рудах содержание теллура составляет 24 г/т, в медно-мышьяковых—100 г/т, молибденовых — 110 г/т, полиметаллических—90 г/т и в золото-теллуридов—2,1 кг/т, в среднем—60 г/т. Содержание же селена в этих типах руд составляет соответственно: 7, 30, 27 и 50 г/т. В соответствующих концентратах содержание отмеченных элементов повышается в три-четыре раза.

В сульфидах концентрация теллура и селена соответственно составляет 120—690 и 20—65 г/т. Высоким содержанием теллура (до 60,8%) и селена (100—2000 г/т) характеризуются теллуриды.

Руды Меградзорского месторождения отличаются также повышенной и высокой концентрацией висмута, которая в отдельных типах руд составляет 20—200 г/т. Она повышается по мере понижения температуры рудообразования. В сульфидах установлены следующие концентрации висмута: в пирите—200 г/т, халькопирите и сфалерите—120 г/т, блеклой руде — 420 г/т, галените—500 г/т. Висмут установлен в теллуридах Au, Ag и Pb —30—300 г/т. В полиметаллических рудах концентрация висмута высока в поздних минералах.

Концентрация кадмия в рудах по штучным образцам (спектральные анализы) в среднем составляет 40—50 г/т. Высокие концентрации кадмия (110 г/т) в полиметаллических рудах связаны с сфалеритом, где содержание кадмия достигает 5 кг/т. За ним следуют блеклая руда (2 кг/т), галенит (650 г/т), халькопирит (500 г/т) и пирит (8 г/т).

Руды Амзачиманского месторождения бедны (Ш. О. Амирян, 1966, 1968) как сульфидами, так и благородными и редкими элементами. Содержание золота и серебра составляет 1,3—7,96 г/т (нередко 100 и более г/т) и 2,7—56,0 г/т (нередко несколько сот г/т) соответственно. Среднее содержание золота составляет 5,5 г/т, серебра—24,6 г/т. Сравнительно высокое содержание золота и серебра установлено в полиметаллическом типе руд, где присутствуют теллуриды золота и серебра. Повышенными концентрациями золота и серебра харак-

теризуются также золото-шеелитовые руды (7,96 и 22,2 г/т соответственно). Высокие содержания золота определены в блеклой руде (650 г/т), галените (510 г/т), пирите (220 г/т) и шеелите (60 г/т). Концентрация селена, теллура и висмута также низка и составляет 10—20, 17—50 и 16—46 г/т соответственно. В сульфидах установлены 15—40 г/т селена и 20—70 г/т теллура. Концентрация остальных элементов (кадмия, галлия, германия и др.) очень низка и составляет 2—15 г/т. Содержание  $WO_3$  по зоне 3 и 4 составляет 0,29—0,325%.

На Личкваском золото-сульфидном месторождении (Ш. О. Амирян) содержание золота и серебра, в зависимости от типа руд, колеблется в пределах от 2,17 до 65,8 г/т для золота и от 10 до 233,8 г/т для серебра (изредка до 1235 г/т). При этом высокой концентрацией золота (65,95 и 63,1 г/т) и серебра (412,7 и 94,4 г/т) характеризуются полиметаллические и арсенопиритовые руды, низкой — пирит-халькопиритовые (2,05 и 74,34 г/т). В сульфидах (арсенопирите, пирите, сфалерите, галените, блеклой руде и халькопирите) содержание золота и серебра колеблется в пределах 10—200 и 100—3000 г/т соответственно.

По групповым пробам содержание серебра составляет 56,8—62,8 г/т. Содержание висмута в рудах колеблется от 20 до 500 г/т. В пирите, халькопирите, галените, сфалерите, блеклой руде и арсенопирите содержится висмут от 0,003 до 0,3%. Висмут в рудах, кроме изоморфной примеси, образует также собственные минералы (висмутин и козалит).

Содержания селена и теллура в рудах определены в количестве 20—40 и 60—600 г/т соответственно. Теллур, кроме изоморфной формы, представлен также теллуридами. Основная концентрация кадмия связана с полиметаллическими рудами и составляет 0,013 — 0,14%. В сфалеритах она доходит до 3%. Содержание галлия в рудах низкое и составляет 0,0003—0,003%. В отдельных пробах пирита, халькопирита и сфалерита установлено индия 10—100 г/т.

Золоторудные месторождения резко обогащены теллуrom, который выделяется в форме теллуридов золота, серебра, висмута, никеля, меди, свинца и ртути. Второй характерный элемент—селен содержится в виде изоморфной примеси в пирите, халькопирите, арсенопирите, в других сульфидах, сульфосолях и теллуридах в количестве—0,001—0,01—0,2%. В рудах отмечается повышенное содержание висмута. Последний представлен как собственными минералами (теллуrowисмутит, тетрадимит, висмутин, козалит и др.), так и в виде изоморфной примеси в сульфидах, сульфосолях и теллуридах. Содержание висмута достигает 0,1—0,3%, в среднем 0,01—0,03%.

В рудах в значительном количестве содержится кадмий—10—50 г/т. В полиметаллических рудах содержание кадмия доходит до 200 г/т и более.

В рудах в небольших количествах установлены: индий, галлий, германий, олово и другие элементы.

Таким образом, в рудах золоторудных формаций наиболее ценными металлами являются золото, серебро, теллур и висмут при второстепенной роли селена, кадмия, индия, ртути, вольфрама и других элементов.

## Г. ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКАЯ ФОРМАЦИЯ

Полиметаллическая формация руд развита в пределах Памбак-Зангезурской структурно-металлогенической зоны, где она тесно связана с медно-молибденовой формацией, нередко располагаясь на флангах рудных полей последней или же представляя интенсивное проявление более поздних рудных стадий. К этой формации относятся полиметаллические месторождения Айюцзорского рудного района (Газма, Гюмушхана, Чирахлу, Енгиджа, Азатек и др.) и Зангезура (Мазра, Аткиз, Пухрут и др.).

В структурном отношении месторождения Айюцзорского рудного района приурочены к участку погружения крупного Памбак-Зангезурского антиклинория, определяющего характер его металлогении и магматизма. Складчатые структуры второго и более высоких порядков в сочетании с дизъюнктивными нарушениями контролируют размещение как интрузивных массивов доолигоцен-верхнеэоценового возраста, так и парагенетически связанную с ними рудную минерализацию. Оруденение представлено в основном жилами и, реже, зонами прожилково-вкрапленных руд и локализуется в среднеэоценовых вулканогенно-осадочных образованиях (Газма, Азатек), средне-верхнеэоценовых (олигоценных?) андезитах (Гюмушхана) и нередко переходит в интрузивные гранитоиды (Газма, Каялу, Гюмушхана).

По минеральному составу выделяются руды преимущественно свинцово-цинковые в карбонатных породах (Енгиджа), собственно полиметаллические (Газма, Каялу, Гюмушхана) и свинцово-сурьмяные (Азатек). Указанные типы руд в пространстве иногда связаны постепенными переходами, выражающимися вертикальной и горизонтальной зональностью. По вещественному составу руды месторождений рассматриваемого района довольно сходны между собой и отличаются раз-

личными количественными соотношениями рудообразующих минералов и элементов.

В хронологической последовательности для района в целом выделяются следующие стадии рудной минерализации (В. О. Пароникян, 1964): I—кварц-карбонат-пиритовая (Газма, Каялу, Азатек, Гюмушхана), II—пирит-халькопиритовая с молибденитом (Каялу, Гюмушхана, Газма), III—полиметаллическая (Газма, Гюмушхана, Каялу, Чирахлу, Азатек), IV—сульфоантимонитовая (Азатек), V—кварц-антимонитовая (Азатек), VI—баритовая (Азатек, Гюмушхана), VII—кварц-карбонатная (Газма, Азатек, Каялу, Гюмушхана). Для исследуемых месторождений в целом установлен следующий ряд хронологической последовательности выделения рудных минералов: пирит, арсенопирит, сфалерит, халькопирит, блеклая руда и галенит, сульфовисмутиты и сульфоантимониты свинца, меди, серебра, теллуриды висмута, свинца и серебра, антимонит. В разных стадиях рудной минерализации отдельные члены вышеприведенного ряда выпадают из парагенезиса, однако порядок выделения минералов сохраняется. Причем минералы указанной последовательности в стадиях минерализации имеют определенное распределение; начальные члены с некоторыми отклонениями характерны для более ранних и высокотемпературных стадий и постепенно вытесняются последующими при переходе в более поздние и относительно низкотемпературные стадии минерализации.

Месторождения и рудопроявления Зангезура приурочены к интрузивным породам монцонитового состава (Пухрут, Атикиз, Пирмазра, Пирзами, Кармиркар и др.), а также эоценовым (олигоценовым?) вулканогенным породам (Мазра, Аравус, Лернашен и др.). Оруденение контролируется дизъюнктивными нарушениями, а иногда и контактами пород жильной серии; морфологически отмечаются жилы, гнезда и прожилки, развитые в широких зонах измененных пород.

## 1. Газминское месторождение

Месторождение расположено в 30 км от районного центра Ехегнадзор, в верховьях р. Кармрашен на северо-восточном склоне г. Тек.

В его геологическом строении участвуют вулканогенно-осадочные породы, представленные туффитами, туфопесчаниками, перекрывающимися сверху туфами пироксеновых андезитов и пирокластическими агломератовыми породами эоце-

нового возраста. Эти образования прорываются гипабиссальными интрузиями сиенито-диоритового, граносиенитового, гранодиоритового составов и дорудными жильными породами — гранодиорит-порфирами, диорит-порфиритами, шампрофирами и др.

Рудные тела представлены в основном жилами северо-восточного близмеридионального простирания, залегающими среди вулканогенно-осадочных отложений, реже переходящими в интрузивные породы.

Главными рудными минералами месторождения являются сфалерит и галенит, подчиненное значение имеют пирит, халькопирит и блеклая руда.

Наряду с этим установлен также ряд второстепенных и редких минералов — марказит, пирротин, молибденит, арсенипирит, сфалерит, борнит, бурнонит, геокронит, буланжерит, айкинит, матильдит, теллуrowисмутит, алтаит, гессит, аргентит, самородное серебро и др. (И. Г. Магакьян, Г. О. Григорян, В. О. Пароникян, Ш. О. Амирян, А. Г. Акопян). Жильными являются кварц, карбонаты, серицит, реже — эпидот, хлорит, барит и др.

Формирование руд месторождения происходило в течение следующих стадий минерализации: кварц-пиритовой, пирит-халькопиритовой с молибденитом, полиметаллической, кварц-карбонатной (В. О. Пароникян, 1962, 1964).

Характер распределения редких элементов в рудах рассматривается в работах Н. С. Хачатряна и Б. Д. Акопян, В. О. Пароникяна, Ш. О. Амиряна и А. Г. Акопяна.

Наиболее полные данные по содержанию редких элементов в рядовых рудах месторождения приводятся в работе Н. С. Хачатряна и Б. Д. Акопян. По 10 объединенным пробам в рудах установлены: Cd—0,02%, Ga—12 г/т, Ag—46,6 г/т, In < 0,00025%, следы селена и теллура. Средние содержания главных компонентов при этом составляют: Pb—4,38, Zn—6,05, Cu—0,4, Fe—7,18, S—11,14%.

В отличие от этих данных, Ш. О. Амирян и А. Г. Акопян указывают на более высокое содержание серебра, кадмия, теллура и индия в рудах (табл. 42).

Ниже приводятся данные по содержанию редких и благородных элементов в главных рудообразующих минералах месторождения (табл. 43, 44).

Из приведенных данных в табл. 43 и 44 следует, что комплекс элементов Ag, Au, Bi, Se, Te в основном накапливается в блеклой руде и галените, менее интенсивно — в пирите и халькопирите. Небольшие примеси Ag и Bi устанавливаются и в сфалерите.

Содержания редких и благородных элементов в рудах месторождения

Типы руд и место взятия	Кол-во проб	Элементы, ‰							
		Ag	Cd	Te	Bi	Ga	Ge	In	Au
Полиметаллическая руда, участок Кореки-дзор	70	0,03—0,1	0,1—0,3	0,003—0,01	0,01	0,003	0,0003	0,003	0,0001
Полиметаллическая руда, участок Газма	49	0,01—0,03	0,1	0,001—0,003	0,003—0,01	0,001	0,0003	0,001	0,0001
Свинцово-цинковая руда с примесью халькопирита, участок Арчи-дзор	26	0,01—0,03	0,1	0,001—0,003	0,003—0,01	0,001—0,003	—	—	—

Таблица 43

Содержания редких и благородных элементов в главных рудообразующих минералах месторождения (по Ш. О. Амрияну и А. Г. Акопяну)

Минералы	Элементы, ‰						
	Ag	Cd	Se	Te	Ga	Ge	Tl
Сфалерит	—	0,28	—	—	0,0012	0,0005	0,0005
Пирит	—	—	0,006	0,0045	—	—	—
Халькопирит	—	—	0,0143	0,0055	—	0,0003	0,0005
Галенит	0,10	—	0,012	0,013	—	0,0002	0,0001
Блеклая руда	0,16	—	0,017	0,007	—	0,0006	0,0009

Таблица 44

Содержания редких и благородных элементов в сульфидах (по В. О. Пароникяну)

Название минерала	Стадии минерализации	Средние содержания элементов				
		Ag, г/т	Au, г/т	Se, ‰	Te, ‰	Bi, ‰
Пирит	Пирит-халькопиритовая	30,3	Не обн.	0,004	0,005	0,003
Пирит	Полиметаллическая	87,4	"	0,0009	0,0029	0,0015
Халькопирит	Пирит-халькопиритовая	40,5	0,15	0,0027	0,0006	0,0077
"	Полиметаллическая	41,0	Не обн.	0,0005	0,00045	0,0030
Сфалерит	"	5,6	"	Не обн.	Не обн.	0,0019
Блеклая руда	"	2446,0	4,0	0,0026	0,0046	0,0048
Галенит	"	407,9	0,14	0,0074	0,006	0,0073

По содержанию Cd, In, Ga, Tl и Ge (табл. 45) наибольший интерес представляет сфалерит. Относительно повышенные содержания Tl, Ge и Cd наблюдаются и в блеклых рудах. Присутствие указанных компонентов в остальных сульфидах, по-видимому, обусловлено примесью сфалерита. Содержание рения в сульфидных минералах, за исключением молибденита, небольшое; несколько возрастает в халькопирите и галените.

Для попутного извлечения, как видно из вышеприведенных данных, наибольший интерес представляют примеси серебра, висмута и кадмия.

Содержания редких элементов в сульфидах месторождения  
(по А. Г. Акопяну)

Название минерала	Средние содержания, ‰					
	Cd	In	Ga	Tl	Ge	Re
Пирит	0,0011	до 0,0002	до 0,0002	0,00005	0,00005	до 0,00003
Халькопирит	0,007	0,0003	0,0002	0,00016	0,00022	0,00004
Сфалерит	0,245	0,0013	0,0009	до 0,0002	0,00057	—
Блеклая руда	0,011	0,0003	0,0006	0,0006	0,00043	до 0,00005
Галенит	0,013	0,0001	0,0002	0,00041	0,0001	0,00016
Молибденит	—	—	—	—	—	0,023

## 2. Азатекское месторождение

Месторождение расположено около пос. Азизбеков (Сойлан) и охватывает несколько участков — Левобережный, Правобережный, Цицкар и Софи-бина.

По Э. Г. Амирбекяну, в геологическом строении месторождения принимают участие среднеэоценовые вулканогенно-осадочные образования, представленные снизу туфопесчаниками, туфобрекчиями, туфоконгломератами и андезитами. Указанные породы в пределах месторождения прорваны Каялинской интрузией гранодиорито-сиенито-диабазовых порфириров.

Оруденение приурочено к среднеэоценовым отложениям и нередко переходит в интрузивные породы. Поисково-разведочными работами установлено несколько участков рудных жил и, реже, зон, залегающих в трещинах скола и разрыва, а также трещинах отдельности интрузива. Рудная минерализация приурочена в основном к системе трещин СЗ направления.

Сурьмяно-полиметаллические руды характеризуются очень сложным минеральным составом; помимо главных рудных минералов: пирита, сфалерита, галенита, буланжерита, бурнонита, геокронита, антимонита и тетраэдрита отмечены также второстепенные и редкие — марказит, пирротин, арсенопирит, борнит, халькопирит, халькозин, плагионит, семсент, алтаит, гессит, самородное золото, акантит, миаргирит, пираргирит, стефанит и самородное серебро (И. Г. Магакян, Г. О. Григорян, Э. А. Сагателян, В. О. Пароникян). Формирование руд месторождения происходило в пределах следующих стадий

Таблица 46

Содержания редких и благородных элементов в рудах месторождения (по Ш. О. Амирян и А. Г. Акопяну)

Типы руд и место взятия	Кол-во проб	Э л е м е н т ы, ‰							
		Au	Ag	Cd	Ge	Te	Bi	Ga	In
Полиметаллическая руда, участок Гегарчин	53	0,0005	0,1—0,3	0,3—1,0	0,0003	0,003—0,01	0,003—0,01	0,003	0,003
Полиметаллическая руда, участок Каялу	15	0,0003	0,05—0,1	0,01	0,0002	0,001	0,01	0,003	0,001
Полиметаллическая руда, участок Правобережный	20	0,0003	0,05—0,1	0,03	0,0002	0,003	0,01	0,001	—
Сульфoантимонитовая руда, участок Софи-бина	20	0,0003—0,0005	0,05—0,1	0,03	0,0002	0,003	0,01	0,001	—
Сульфoантимонитовая руда, участок Левобережный	18	0,0005	0,1—0,3	0,01	—	0,001	0,003—0,01	0,001	—
Антимонитовая руда, участок Левобережный	22	0,0003	0,03—0,1	0,03—0,1	—	—	0,003—0,01	0,001	0,001
Сульфoантимонитовая руда, участок Гегарчин	8	0,0003—0,0005	0,1—0,5	0,03—0,1	—	0,003—0,01	0,03	0,003	—
Серноколчеданная руда, участок Правобережный	5	—	0,001	0,003	—	0,001?	0,003—0,01	—	—

Содержания благородных элементов в рудах (по Ш. О. Амиряну и А. Г. Акопяну)

Типы руд и место взятия	Кол-во проб	Элементы, г/т		Отношение Au : Ag
		Au	Ag	
Антимонитовая и сульфоантимонитовая руда, участок Левобережный	8	3,5	550	1 : 157
Полиметаллическая руда, участок Правобережный	4	2,7	195	1 : 72
Полиметаллическая руда, участок Гегарчин	6	2	68	1 : 34
Сульфоантимонитовая руда, участок Софи-бина	6	2,5	219	1 : 88

Таблица 48

Содержания редких и благородных элементов в главных рудных минералах Азатекского и Каялинского месторождений (по Ш. О. Амиряну и А. Г. Акопяну)

Минералы	Кол-во проб	Э л е м е н т ы, г/т								
		Au	Ag	Bi	Te	Se	Cd	In	Ga	Ge
Пирит	4	10—30	10—100	10—30	30	150	30—100	—	—	—
Халькопирит	6	10—30	100	100—300	53	153	—	—	—	2,5—10
Сфалерит	5	10—100	30—100	100—500	—	—	1000—10000	10—100	5—85	1—5
Тетраэдрит	2	10—100	300—1000	100—300	80	100	1000—3000	—	—	2
Теннантит	2	10—100	100—1000	100—300	90	115	300—1000	—	—	3
Галенит	5	10—50	300—500	100—500	38	108	100—300	3	—	—
Антимонит	3	10—50	300—500	10—100	30	85	300—1000	10—100	10—30	1—5
Буланжерит	2	10—30	800—1000	100—300	75	390	1000	—	—	1—8

минерализации: кварц-карбонат-пиритовая, полиметаллическая, сульфоантимонитовая, кварц-антимонитовая и безрудная кварц-карбонат-гипсовая.

Характер распределения благородных и редких элементов в рудах изучался Э. Г. Амирбековым, Г. О. Григоряном, Н. С. Хачатряном и Б. Д. Акоюн, Э. Г. Сагателян, А. Г. Акоюном, В. О. Пароникяном, Ш. О. Амиряном и др.

Содержание основных компонентов составляет: Sb—1,6, Pb—1,9, Zn—1,0%. Рядовые руды, по данным опробования геологоразведочной партии, содержат 400 г/т серебра и несколько грамм на тонну золота. Содержания редких и благородных элементов в рудах и минералах месторождения, включая Гегарчинский и Каялинский участки, приведены в табл. 46, 47 и 48.

Как видно из приведенной табл. 46, высокими содержаниями Ag и Au характеризуются полиметаллические и сульфоантимонитовые руды Гегарчинского и Правобережного участков и антимонитовые руды Левобережья р. Арпа. Повышенные содержания кадмия, теллура и висмута установлены во всех типах руд, кроме серноколчеданного; германий, галлий и индий присутствуют в незначительных количествах.

Средние содержания элементов в главных рудных минералах рассматриваемого месторождения по стадиям минерализации приведены в табл. 49 (данные В. О. Пароникяна, 1967) и табл. 50 (данные А. Г. Акоюна).

Таблица 49

Содержания редких и благородных элементов в главных рудообразующих минералах месторождения

Название минерала	Стадии минерализации	Средние содержания элементов				
		Ag, г/т	Au, г/т	Se, ‰	Te, ‰	Bi, ‰
Пирит	Кварц-карбонат-пиритовая	9,4	Сл.	0,0154	0,0019	0,0001
"	Полиметаллическая	200,0	—	0,0011	0,0008	0,0003
"	Сульфоантимонитовая	143,0	Не обн.	0,0017	0,001	0,0003
Сфалерит	Сульфоантимонитовая	95,0	—	—	—	—
Тетраэдрит	Сульфоантимонитовая	51300,0	—	—	—	—
Галенит	Сульфоантимонитовая	998,0	4,2	0,0022	0,0022	0,046
Сульфоантимониты Pb и Cu	Сульфоантимонитовая	11675,0	44,0	0,0456	0,0032	0,0331
Антимонит	Кварц-антимонитовая	22,7	Не обн.	0,034	0,0022	0,0003

Содержания редких элементов в некоторых сульфидах месторождения

Название минерала	Средние содержания элементов, ‰					
	Cd	In	Ga	Tl	Ge	Re
Пирит	0,0025	до 0,0003	0,0002	до 0,0005	0,0001	Не обн.
Сфалерит	0,272	0,0006	0,0008	до 0,0001	0,00055	—
Галенит	0,017	0,0006	0,0003	0,00046	0,00034	0,00012

В сурьмяно-свинцовых и свинцовых концентратах установлены: Se—0,0108—0,0341, Te—0,0038—0,0053, Cd до 0,01 ‰, Tl — до 0,0012 и Bi—до 0,018 ‰. Таким образом, Ag, Au и Bi в основном накапливаются в галените, тетраэдрите и сульфoантимонитах свинца, между тем как Se и Te равным образом присутствуют в пирите и антимоните. Следует подчеркнуть значительные концентрации селена в сульфoантимонитах свинца и цинка, а также в антимоните. Кадмий, как обычно, концентрируется в сфалерите. Содержание остальных примесей (In, Ga, Tl, Ge и Re) в минералах обычно низкое.

Из вышеизложенного следует, что для руд этого месторождения наиболее характерными являются примеси Ag, Au, Se и Bi, роль остальных примесей ничтожна.

### 3. Гюмушханское месторождение

Месторождение расположено в 3 км к северо-востоку от с. Терп, около развалин с. Гюмушхана в верховьях рр. Амбарил и Зивлих. Месторождение разрабатывалось еще в глубокой древности, о чем свидетельствуют следы древних выработок.

В геологическом строении принимают участие эффузивные породы, представленные лабрадоровыми и пироксеновыми андезитами, а также агломератовыми и пирокластическими туфами андезитов. Возраст этих пород определяется как средний эоцен (В. Н. Котляр, 1929); К. Н. Паффенгольц (1948, 1952) относит их к олигоцену. Эти породы прорываются Гюмушханской интрузией, в составе которой определяются щелочные габбро, оливино-ортоклазовые габбро, гранофиры и реже эссекситы (Э. Г. Малхасян, 1958), связанные между собой постепенными переходами. Жильные породы представлены андезитами, аплитами и др.

Таблица 51

Содержания благородных и редких элементов в рудах месторождения (по Ш. О. Амиряну и А. Г. Акопяну)

Название минерала и типов руд	Кол-во проб	Э л е м е н т ы, ‰							
		Au	Ag	Bi	Cd	Te	Ge	Ga	In
Сфалерит	4	0,001	0,01	0,01—0,03	0,5	—	0,001—0,003	—	0,005
Полиметаллическая руда Зивлихского участка	15	0,0002	0,03	0,005	0,1	—	0,0002	0,003	0,003
Свинцовая руда Зивлихского участка	6	0,0002	0,05—0,1	0,01	0,01	0,003	0,0003	0,01	0,003
Полиметаллическая руда участка Амбарнал	8	0,0001	0,01—0,03	0,003	0,03—0,1	—	—	0,001	0,001

В трех участках месторождения (Амбариад, Зивлих и Кави-сар) выявлено около 65 жил северо-западного и северо-восточного простираний.

Главными рудными минералами являются сфалерит, галенит, халькопирит и пирит. В рудах установлены также марказит, арсенопирит, борнит, блеклая руда, бурнонит, геокронит, буланжерит, энаргит и люционит, айкинит, эмплектит, матильдит, теллурувисмутит, алтаит, гессит, самородное золото, стефанит, акантит, самородное серебро (В. Н. Котляр, 1929; И. Г. Магакьян, 1948; Г. О. Григорян, 1952; В. О. Пароникян, 1962, 1964; Н. С. Хачатрян и Б. Д. Акопян, 1962). Жильными являются кварц, различные карбонаты и барит.

Особенности распределения благородных и редких элементов изучались В. Н. Котляром (1929), Н. С. Хачатряном и Б. Д. Акопян (1962), В. О. Пароникяном (1962, 1964, 1967), Ш. О. Амиряном и А. Г. Акопяном (1963, 1964).

Содержания благородных и редких элементов в рудах и минералах месторождения приводятся в табл. 51, 52, 53.

Н. С. Хачатрян и Б. Д. Акопян (1962) установили более

Таблица 52

Содержания благородных и редких элементов в главных рудных минералах месторождения (по В. О. Пароникяну, 1967)

Название минерала	Ассоциации минералов	Средние содержания элементов				
		Ag, г/т	Au, г/т,	Se, %	Te, %	Bi, %
Пирит	Кварц-пиритовая	25,0	—	0,0016	0,0046	0,0012
Халькопирит	Пирит-халькопиритовая и полиметаллическая	190,3	2,6	0,003	0,0015	0,032
Сфалерит	Полиметаллическая	71,4	0,56	Не обн.	Не обн.	0,001
Блеклая руда	"	4884,3	12,0	0,003	0,003	0,060
Галенит	"	736,3	Не обн.	0,001	0,003	0,006
Айкинит	"	5000,0	3000,0	—	0,05	—

высокие содержания индия в сфалеритах и цинковых концентратах (0,0020—0,0035%) и особенно в медных концентратах и халькопиритах (0,0039—0,0075%); по данным указанных исследователей, содержания германия в сфалерите и галените составляют 6—8 г/т, а в халькопирите и медных концентратах

Содержания редких элементов в главных рудных минералах месторождения (по А. Г. Акопяну)

Название минерала	Средние содержания элементов, ‰					
	Cd	In	Ga	Tl	Ge	Re
Пирит	До 0,010	Не обн.	0,00016	0,00034	До 0,0001	Не обн.
Халькопирит	0,0055	0,0009	0,0005	0,0003	0,00007	0,00004
Сфалерит	0,24	0,0009	0,0006	0,0003	0,00057	—
Блеклая руда	0,004	0,00026	0,0002	0,0007	0,0003	0,00016
Галенит	0,016	0,0004	0,0002	0,00054	0,0001	0,00016

1,2—2,8 г/т. В указанных же минералах содержания таллия ниже чем 0,00025 и 0,0005 ‰.

Таким образом, наиболее типичными для руд данного месторождения являются серебро и висмут. Содержания селена и теллура, по сравнению с другими месторождениями Айюцзорского рудного района, обычно низкие, в то время как содержания индия значительно выше. Концентраторами серебра являются галенит, блеклая руда и айкинит; висмута — халькопирит, блеклая руда, галенит и айкинит; золота — халькопирит, блеклая руда и айкинит. Вторая группа элементов (Cd, In, Ge, Tl и Ga) в основном связана со сфалеритом, относительно повышенные содержания индия отмечаются и в халькопирите, Tl—в блеклой руде.

#### 4. Каялинское месторождение

Месторождение расположено в ущелье р. Каялу, на правом берегу р. Арпа.

В геологическом строении принимают участие в основном интрузивные породы гранодиоритового, граносиенитового и сиенитового, а также габбро-диоритового и монцититового составов. На месторождении установлено большое число жил небольшого размера как по простиранию, так и по мощности. Среди них наиболее крупной является жила №26 с апофизами (Гегарчинский участок). Простирание жил обычно северо-восточное с крутыми падениями на северо-запад. Небольшое число жил приурочено и к системам трещин северо-западного простирания.

В отличие от Азатекского месторождения здесь в рудах значительно возрастает роль пирита, халькопирита, галенита, блеклой руды и сфалерита, при небольшой роли сульфанти-

монитов свинца и цинка. В рудах установлены также магнетит, марказит, пирротин, молибденит, арсенопирит, борнит, бурнонит, геокронит, энаргит и люционит, айкинит, эмплектит, виттихенит, матильдит, арамайонит, теллурувисмутит, самородное золото, акантит, самородное серебро, висмутин, галеновисмутит (И. Г. Магакьян, Г. О. Григорян, В. О. Пароникян, А. Г. Акопян и Ш. О. Амирян). Жильными являются кварц, карбонаты, серицит, эпидот, хлорит и др.

По сравнению с Азатекским месторождением здесь более интенсивно проявлены ранние, более высокотемпературные стадии и минеральные ассоциации, которым соответствует парагенезис определенного комплекса элементов.

Наряду с дорудной турмалинизацией и скарнированием пород экзоконтакта интрузии на месторождении проявлены и следующие стадии рудной минерализации: I—кварц-пиритовая, II—пирит-халькопиритовая с молибденитом, III—полиметаллическая, IV—сульфоантимонитовая и V—безрудно-кварц-карбонатная (В. О. Пароникян, 1962). Главными для месторождения являются II и III стадии минерализации.

В рудах установлены Au—1—5 и Ag—20,0 г/т. Результаты пробирных и химических анализов мономинеральных проб на благородные и редкие металлы приведены в табл. 54 и 55.

Таблица 54

Содержания благородных и редких элементов в главных рудных минералах (по В. О. Пароникяну, 1967)

Название минерала	Стадии минерализации	Средние содержания элементов				
		Ag, г/т	Au, г/т	Se, %	Te, %	Bi, %
Пирит	Пирит-халькопиритовая	10,9	Не обн.	0,0067	0,0047	0,006
"	Полиметаллическая	17,0	—	0,0069	0,0022	0,008
Халькопирит	Пирит-халькопиритовая	41,8	1,13	0,0015	0,0033	0,035
"	Полиметаллическая	70,0	—	—	—	0,005
Борнит	Пирит-халькопиритовая	500,0	—	0,0045	0,005	0,16
Арсенопирит	Полиметаллическая	30,0	200,0	—	0,01	0,003
Сфалерит	"	15,0	0,4	0,0025	0,0009	0,0025
Блеклая руда	"	2026,1	22,8	0,0017	0,0051	0,018
Галенит	"	1728,1	6,25	0,0034	0,0015	0,25

Таким образом, наиболее характерными для данного месторождения являются Ag, Au и Bi, которые концентрируются главным образом в блеклой руде, галените, арсенопирите,

Содержания редких элементов в главных рудных минералах месторождения (по А. Г. Акопяну)

Название минерала	Средние содержания элементов, ‰					
	Cd	In	Ga	Tl	Ge	Re
Пирит	0,0048	До 0,0002	До 0,0003	0,00014	До 0,0001	До 0,00036
Халькопирит	0,0070	0,0005	0,0002	0,0001	0,00038	0,00016
Сфалерит	0,318	0,0010	0,0010	До 0,0001	0,0004	0,00016
Блеклая руда	0,0075	0,00065	0,00021	0,0014	0,0014	0,00023
Галенит	0,017	0,0006	0,0003	0,0003	0,00008	0,00024

в некоторой степени также халькопирите и борните. Селен и теллур присутствуют во всех сульфидах с некоторым возрастанием их содержаний в пирите, халькопирите, борните. Cd, In, Ga, Ge в основном связаны с сфалеритом и блеклой рудой, Tl—с блеклой рудой и галенитом, с последними минералами связаны также несколько более повышенные содержания рения.

Заслуживает внимания выявленная Г. О. Пиджяном, Ш. О. Амиряном, А. Г. Акопяном и А. И. Карапетяном зона пирротин-арсенопирит-пиритовой минерализации, находящаяся в промежутке между участками Каялу и Гегарчин. Оруденелая полоса мощностью 50—60 м прослеживается на протяжении 1—1,5 км среди андезитов экзоконтакта Каялинской интрузии. В зоне установлены пирротин, арсенопирит, пирит, марказит, халькопирит, блеклая руда и др.; спектральными и химическими анализами в образцах из этой зоны установлены Pb до 1%, Cu—0,1—0,5, Sb, Zn—0,01—0,3, Ag—0,0015, Bi—0,003—0,006 и Au—0,00006%.

### 5. Аткизское месторождение

Месторождение расположено на северо-восточном фланге Каджаранского рудного поля.

Оруденение в основном приурочено к монцонитам и представлено жилами и прожилками.

На месторождении обнаружено до двадцати кварцеворудных жил, имеющих северо-восточное простирание с крутым падением (50—80°) как на юго-восток, так и на северо-запад. Рудоносные кварцевые жилы по простиранию прослеживаются от нескольких десятков метров до 250—300 м, а их мощность варьирует в пределах 0,1—1,5 м и более.

Минеральный состав и геохимические особенности руд изучены П. М. Замятиным, И. Н. Чирковым, Г. О. Пиджяном, А. С. Фарамазяном, Р. Н. Зарьяном.

На Аткизском месторождении устанавливаются следующие стадии минерализации: кварц-халькопиритовая, кварц-пиритовая, кварц-галенит-сфалеритовая (с теллуридами Pb, Bi, Ag и Au), карбонатная (анкеритовая) и халцедоновая.

В составе гипогенных руд принимают участие: халькопирит, пирит, молибденит, сфалерит, галенит, энаргит, теннантит, тетраэдрит, алтант, гессит, петцит, тетрадимит, теллуrowисмутит, висмутин, самородное золото и серебро. Жильные минералы главным образом представлены кварцем и карбонатами.

Руды месторождения, наряду с медью, молибденом, цинком и свинцом, содержат серебро, золото, селен, теллур, индий, галлий, кадмий.

В свинцовом концентрате среднее содержание селена составляет 0,0012%, теллура — следы, а в пиритовом концентрате — Se—0,0025, Te — 0,0087% (Н. С. Хачатрян, Б. Д. Акопян). Содержание редких и благородных элементов в различных сульфидных минералах приведено в табл. 56 и 57 по данным Г. О. Пиджяна, А. С. Фарамазяна и Р. Н. Зарьяна. Полученные результаты показывают, что наименьшая концентрация селена — 0,0027% — наблюдается в сфалерите; затем возрастает в галените (0,0034%) и пирите (до 0,0047%). Максимальное содержание его приурочено к халькопириту (0,015%). Во всех случаях халькопириты и пириты содержат теллура больше, чем галениты и сфалериты.

Низкие содержания серебра устанавливаются в пирите, халькопирите и сфалерите, а высокие — в галените.

В рудах Аткиза, наряду с главными компонентами — свинцом и цинком, определенный практический интерес могут представить медь, молибден, а из редких — серебро, висмут, селен, теллур, кадмий, индий и, возможно, золото.

## 6. Чирахлинское проявление

Находится в 3 км к юго-востоку от с. Чайкенд Азизбековского района, в верховьях одноименного ущелья.

Месторождение сложено туфопесчаниками, плагиоклазовыми и пироксен-амфиболовыми андезитами, агломератовыми туфами среднего эоцена, прорванными небольшими телами интрузивных пород кварцевого диорита.

На месторождении установлено 8 рудных жил северо-восточного и реже северо-западного простираний, прослеживаю-

Таблица 56

## Содержания Se и Te в сульфидах по данным химических анализов

Минералы	Кол-во хим. анализов	Содержание элементов, %					
		Селен			Теллур		
		от — до		среднее	от — до		среднее
Халькопирит	5	0,0030	0,0245	0,0150	0,0020	0,0180	0,0100
Пирит	9	0,0030	0,0060	0,0047	0,0040	0,0310	0,0104
Галенит	6	0,0020	0,0060	0,0034	0,0010	0,0045	0,0027
Сфалерит	5	0,0020	0,0040	0,0027	0,0015	0,0040	0,0027

Таблица 57

## Содержания редких и благородных элементов в сульфидах по данным спектральных анализов

Минералы	Кол-во анализов	Содержание элементов, %					
		Висмут	Серебро	Кадмий	Индий	Галлий	Золото
Халькопирит	5	0,0001—0,1	0,01 —0,1	Не обн.—0,01	—	—	—
Пирит	9	0,0001—0,1	0,0001—0,1	Не обн.—0,01	—	—	Не обн.—0,01
Галенит	6	0,001 —0,1	0,01 —1,0	0,01—0,1	—	—	—
Сфалерит	5	0,0001—0,1	0,01 —0,1	0,1—1,0	0,001—0,1	0,001—0,01	—

щихся по простиранию от 30 до 250 м. Средние содержания металлов в них составляют—Pb—1,88, Zn—2,49%.

Результаты химических анализов мономинеральных проб и концентратов приведены в табл. 58.

Таблица 58

Содержания редких элементов в минералах и рудных концентратах месторождения (по Н. С. Хачатрян и Б. Д. Акопян)

Название минерала и концентрата	Средние содержания элементов, ‰						
	Se	Te	Cd	Ge	Ga	In	Tl
Сфалерит	0,0008	Сл.	0,274	0,00006	0,0001	0,004	<0,00025
Цинковый концентрат	0,00027	Сл.	0,276	До 0,00013	0,0001	0,00475	<0,00025
Свинцовый концентрат	0,0008	Сл.	0,013	До 0,00013	0,0001	<0,00025	<0,00025
Пиритовый концентрат	0,00075	Сл.	—	—	—	—	<0,00025

Сгруппированные данные спектральных анализов мономинеральных проб приведены в табл. 59.

Таблица 59

Частота встречаемости некоторых элементов-примесей в главных рудных минералах месторождения (по Н. С. Хачатрян и Б. Д. Акопян)

Название минерала	Кол-во проб	Элементы	Содержания и частота их встречаемости, ‰				
			Не обн.	0,001	0,01	0,1	1,0
Галенит	8	Ag	—	1	3	4	—
		Bi	3	3	2	—	—
		Cd	6	2	—	—	—
		Tl	3	—	5	—	—
Сфалерит	7	Ag	5	2	—	—	—
		Cd	—	1	1	4	1
Пирит	7	Ag	6	1	—	—	—

Заслуживают внимания содержания висмута в галените (до 0,01%) и повышенные концентрации индия (аналогично Гюмушханскому месторождению) в сфалерите. Содержания селена и теллура, по сравнению с другими месторождениями Айюцзорского рудного района—низкие.

## 7. Барцраванское (Мазринское) проявление

Месторождение находится в 2,5 км к юго-востоку от с. Барцраван Сисианского района. Оно известно издавна и частично разрабатывалось в 1864—1866 гг. В 1951 г. на месторождении возобновились разведочные работы, которые с некоторыми перерывами продолжались и в дальнейшем. Изучением месторождения занимались в разные годы Ж. М. Григорян, Г. О. Григорян, Н. Д. Хачатрян, А. А. Гюрджян, в работах которых освещены геология, минералогия и результаты разведочных работ. В рудах месторождения редкие элементы изучали Н. С. Хачатрян и Б. Д. Акопян.

В геологическом строении принимают участие порфириды и их брекчии эоценового времени, которые на отдельных участках гидротермально изменены. Рудные тела представлены жилами и зонами. В результате проведенных разведочных работ к настоящему времени вскрыто 9 жил и одна рудная зона. В минеральном составе руд принимают участие: пирит, галенит, сфалерит, блеклая руда и халькопирит.

Мощность жил колеблется от 0,05 до 0,5 м, они по протяжению протягиваются на десятки метров и имеют крутое падение. Содержание металлов в жилах колеблется в широких пределах и в среднем составляет Pb—3,5, Zn—3, Cu—0,2%. Мощность рудной зоны составляет 2,5—3 м с содержанием Pb—2,4, Zn—3,3%.

Ниже, в табл. 60, по данным Н. С. Хачатряна и Б. Д. Акопян, приводится содержание редких элементов в отдельных концентратах (результаты спектральных и химических анализов).

Таблица 60

Содержания редких элементов в концентратах проявления, ‰

Наименование концентрата	Элементы				
	Se	Te	In	Cd	Ga
Свинцовый (Pb—78,54, S—16,13)	0,004	От сл. до 0,0016	0,0008	0,01	0,001
Цинковый (Zn—58,5)	0,002	—	0,003	До 1,0	0,001
Свинцово-цинковый (Pb—27,83, Zn—22,5, Cu—1,35, Fe—10,0 S—24,14)	От сл. до 0,0024	Сл.	От 0,003 до 0,02	0,1—1,0	—
Пиритовый (Fe—39,74, S—41,31, Pb—7,56, Zn—1,16)	Сл.	0,0008	—	—	—

Спектральным анализом в галените установлено: Bi, Sb до 0,1, Ag—0,01—0,1, Tl—0,01, в сфалерите Cd—0,1—1%.

Приведенные в табл. 60 анализы показывают, что в свинцовом концентрате накапливаются селен и теллур, в цинковом и свинцово-цинковом — селен, индий, кадмий.

## 8. Аравусское проявление

Рудопроявление находится в 7 км к северо-востоку от с. Аравус Сисианского района. Оно представлено двумя участками: Мазмазак и Марджан. На участках рудовмещающими породами являются среднеэоценовые порфириды и их туфы, туфобрекчии и туфоконгломераты, которые прорваны интрузивными породами гранодиоритового и монцонитового состава. Рудные тела представлены жилами, гнездами и зонами измененных пород среди порфиридов. Среднее содержание металлов в зонах составляет: Cu—0,8—1,8, Pb—1—2, Zn—0,5—1,0%. В рудах установлены следующие минералы: пирит, сфалерит, галенит, борнит, халькопирит, реальгар, халькозин, аурипигмент, энаргит, фаматинит, люционит, аргентит, идаит и бурнонит. Нерудные минералы представлены: кварцем, карбонатами и каолинитом.

В табл. 61, по данным Н. С. Хачатряна и Б. Д. Акопян, приводится характер распределения редких элементов в отдельных минералах.

Таблица 61

Содержания редких элементов в сульфидах

Минералы	Э л е м е н т ы, %				
	Se	Te	Bi	Ge	In
Пирит	0,003	0,0016	—	—	—
Энаргит	—	0,0003	0,01	0,001	0,0004
Галенит	—	—	0,01—1,0	—	0,0008
Реальгар	—	0,0016	—	0,0002	—

В крупночешуйчатом молибдените из зоны грейзенизированных пород верховья р. Сальвард установлен рений—0,2%. В сфалерите обнаружено: Cd—0,1—1,0, Ga—0,01%. В концентратах установлены Se, Te, In, Tl (табл. 62).

Содержания редких элементов в концентратах, ‰

Наименование концентрата	Э л е м е н т ы, ‰			
	Se	Te	In	Tl
Свинцовый (Pb—72,11)	0,0051	0,0024	—	0,01
Свинцово-цинковый (Pb—18,13, Zn—19,61)	0,0036	0,0008	0,0032	0,0004
Цинковый (Zn—55,0)	0,0018	—	0,0091	—

### 9. Енгиджинское проявление

Месторождение расположено в 2,5 км к северо-востоку от с. Гандзак Ехегнадзорского района.

В геологическом строении месторождения участвуют песчаники, известковистые микроконгломераты сантона, известняковые конгломераты, рассланцованные песчаники и окремненные известняки маастрихта—дата и перекрывающая их вулканогенная толща эоцена (С. И. Аванесян, Г. И. Захарян).

Оруденелая зона близмеридионального простирания приурочена к известнякам верхнего мела и прослеживается на протяжении 270 м.

В минеральном составе руд участвуют галенит, сфалерит, пирит, халькопирит, кальцит, арагонит, анкерит; из вторичных минералов присутствуют церуссит, смитсонит и англезит. Содержания основных металлов в зоне составляют Pb—0,94 и Zn—2,28%.

Н. С. Хачатряном и Б. Д. Акопян в свинцовых концентратах установлены следующие содержания элементов: Se—0,0017, Te—0,0002%, Ge—1,6 г/т, In—до 0,0005%, Cd—0,012, Ag—0,0025, Tl—до 0,0001%.

\* \* \*

Вышеизложенный фактический материал позволяет выделить Ag, Bi и Cd как наиболее типичные элементы-примеси полиметаллической формации, в то время как содержания селена и теллура в этих рудах сравнительно более низкие по сравнению с колчеданно-полиметаллическими рудами Алаверди-Кафанской зоны. Многие типоморфные особенности этих двух формаций связаны с распределением главных и второстепенных рудообразующих компонентов, а также минеральных форм и парагенезисов их проявления (В. О. Пароникян, 1962, 1964, 1966, 1967), которые позволяют рассматривать их как

самостоятельные рудные формации, приуроченные к геохимически специализированным зонам.

В рудах полиметаллической формации наблюдается некоторое повышение содержания индия в месторождениях Гюмушхана, Чирахлу, Аравус. В свинцово-сурьмяных рудах Азатека довольно высоки содержания селена, а в полиметаллических рудах Алаверди — теллура. Ниже кратко рассматривается распределение элементов-примесей в рудах и минералах этой формации.

**Золото.** Относительно повышенные содержания золота приурочены к сравнительно высокотемпературным образованиям (Каялу, нижние горизонты месторождений Газма и Гюмушхана). Повышенной золотоносностью характеризуются и низкотемпературные свинцово-сурьмяные руды Азатека. Золото представлено в дисперсном состоянии в сульфидах, самородными частицами и реже в виде теллуридов. Аналитический материал позволяет предположить наличие изоморфного золота в сложных сульфоантимонитах, сульфовисмутитах Pb и Cu, а также теллуридах висмута (В. О. Пароникян, 1967). Повышение содержания золота наблюдается в поздних рудных стадиях — полиметаллической и сульфоантимонитовой. Наиболее постоянными носителями золота, которые одновременно могут служить индикаторами повышенных концентраций этого элемента в рудах, являются блеклая руда, арсенопирит, сульфоантимониты и особенно сульфовисмутиты Pb и Cu, а также теллуриды, что равноценно различным парагенетическим сочетаниям следующих элементов—Au, Ag, Bi, As, Sb, Te (В. О. Пароникян, 1964, 1967).

**Серебро.** Небольшие концентрации этого элемента приурочены обычно к пириту, халькопириту и сфалериту (до 0,01%). Содержание серебра в рудах контролируется главным образом галенитом и блеклой рудой, содержащими до несколько килограмм на тонну серебра; немаловажное значение имеют также сульфовисмутиты Pb и Cu, а для свинцово-сурьмяных руд, наряду с галенитом и тетраэдритом, как один из главных концентраторов серебра, выступают сульфоантимониты свинца и меди. В рудах серебро в основном находится в изоморфном состоянии в вышеотмеченных сульфидах; минеральная форма, с некоторыми исключениями, играет второстепенную роль.

**Висмут.** По сравнению с рудами свинцово-цинковой и колчеданно-полиметаллической формаций содержание висмута здесь значительно более высокое. Повышенные концентрации висмута, аналогично золоту, наблюдаются в относительно более высокотемпературных рудах Каялинского и Гюмушхан-

ского месторождений. Заслуживают внимания высокие содержания висмута и в галените Аравусского месторождения.

Висмутоносными являются почти все рудообразующие сульфиды, однако, как показывает аналитический материал, наиболее интенсивно выделение висмута происходит в поздних, полиметаллических и сульфоантимонитовых стадиях, а в пределах отдельных стадий висмут определенно накапливается в наиболее поздних рудных минералах в следующей общей последовательности: сфалерит, пирит, арсенопирит, блеклая руда, галенит и сульфоантимониты Pb и Cu. Наряду с изоморфной формой в галените, блеклой руде, сульфоантимонитах Pb и Cu, а также частично в халькопирите и борните, установлено большое число разнообразных минеральных видов висмута, описание которых приводится в главе III.

**Кадмий.** Главным концентратором кадмия в рудах рассматриваемой формации является сфалерит, в котором его содержание варьирует в пределах 0,24—1,0%. Любопытно, что повышенное содержание кадмия установлено в сфалерите из относительно высокотемпературных руд Каялинского месторождения (0,318%). В пирите, халькопирите, блеклой руде и галените присутствие небольших содержаний кадмия, по-видимому, в основном связано с примесью сфалерита. При этом отмечается следующий по возрастанию содержания кадмия ряд минералов: пирит, халькопирит, теннантит, галенит и сфалерит.

**Селен и теллур.** Руды рассматриваемой формации характеризуются в общем небольшими содержаниями указанных элементов. Наиболее высокие содержания теллура наблюдаются в рудах Аткизского месторождения, а также в айкините Гюмушханского месторождения (0,05%). Обращают на себя внимание высокие концентрации селена в сульфоантимонитах свинца и меди, а также в антимоните Азатекского месторождения. В пирите и халькопирите наблюдаются некоторые тенденции накопления селена и теллура в более ранних их генерациях. Среди рудообразующих сульфидов, за исключением сфалерита, селен и теллур в остальных распределены примерно в равных количествах.

Анализ фактического материала позволяет считать, что селен в рассматриваемых рудах без особого предпочтения изоморфно входит в решетки различных сульфидов, замещая серу. Для теллура характерна как изоморфная, так и форма собственных минералов. Здесь небезынтересно отметить тот факт, что частота встречаемости минералов теллура при прочих равных условиях, возрастает от высокотемпературных к более низкотемпературным рудам и минералам. В ряду тел-

луровисмутит, тетрадимит, алтаит, гессит и петцит, который соответствует последовательности их образования, начальные члены более характерны для ранних парагенетических ассоциаций, в то время как в рудах полиметаллической стадии, наряду с этим, возрастает роль теллуридов Ag и Au.

**Индий.** Отмечается некоторое повышение концентраций индия в рудопоявлениях Зангезура (Барцраван, Аравус, Аткиз) по сравнению с рудами Айоцдзорского рудного района. В последнем случае относительно повышенные содержания индия отмечаются в рудах Гюмушханского и Чирахлинского месторождений. В рудах небольшие примеси индия установлены в пирите, энаргите, реальгаре (до 0,0004%), а также блеклой руде, халькопирите и галените (0,0001—0,0009%). Наиболее обычным концентратором этого элемента является сфалерит, в котором индий присутствует в количестве 0,0006—0,0091%. В этом отношении заслуживают внимания сфалериты Чирахлинского (0,004%), Барцраванского (0,003%) и Аравусского (0,0091%) месторождений.

**Галлий.** Небольшие примеси галлия отмечаются в пирите, галените и халькопирите (до 0,0009%). В некоторых месторождениях наблюдается относительное повышение содержания этого элемента в блеклой руде (Газма) и халькопирите (Гюмушхана). Основным носителем этого элемента является сфалерит, в котором все же содержание галлия низкое (0,0006—0,001%). Присутствие этого элемента в остальных сульфидах обусловлено микровключениями сфалерита и, возможно, алюмосиликатов.

**Таллий.** Руды и минералы рассматриваемой формации характеризуются незначительными содержаниями таллия. Повышенные его концентрации отмечаются в свинцовых концентратах Аравусского и галените Барцраванского месторождений. Спектральными анализами довольно высокие содержания таллия отмечаются в галенитах Чирахлинского месторождения (до 0,01%). В пирите, халькопирите и сфалерите его содержание обычно низкое (до 0,0005%). Постоянно присутствует в галените (0,0004—0,0005%) и блеклой руде (0,0006—0,0014%). В месторождениях Айоцдзорского рудного района намечается следующий возрастающий по содержанию таллия ряд сульфидов — сфалерит, халькопирит, пирит, галенит и блеклая руда.

**Германий.** По содержанию германия руды рассматриваемой формации значительно уступают колчеданно-полиметаллической. Несколько повышенные содержания германия отмечаются в блеклых рудах Каялинского (0,0014%) и энаргите Аравусского (0,001%) месторождений. Анализ фактиче-

ского материала позволяет выделить следующий ряд минералов, по которому возрастает содержание германия: пирит, галенит, халькопирит, блеклая руда, энаргит и сфалерит. Структуры последних минералов более благоприятны для изоморфного вхождения германия в решетки.

**Рений.** Как следует из вышеприведенных данных, содержание рения в рудообразующих сульфидах Айюцдзора обычно низкое и находится на грани чувствительности химического анализа. Следует при этом отметить повышение содержания этого элемента в сульфидах Каялинского месторождения. В пирите, сфалерите и халькопирите содержание рения обычно низкое, несколько возрастает в блеклой руде и галените (0,0005—0,0024%).

## Д. СВИНЦОВО-ЦИНКОВАЯ ФОРМАЦИЯ

Свинцово-цинковая формация развита в пределах Алаверди-Кафанской зоны и представлена жилами и более перспективными пластовыми метасоматическими залежами галенит-сфалеритовых руд. Жильный тип отмечается в вулканогенных породах среднего эоцена (месторождения Марцитетской группы), где нередко контролируется приконтактовыми полосами даек диабазовых порфиритов. В Шамшадинском рудном районе прожилковые руды в зонах гидротермально измененных пород приурочены к вулканогенным породам нижней юры (рудопоявления Джргали-дзор, Тоуз-булах и др.).

Пластообразные тела свинцово-цинковых руд гидротермального (телетермального), а по мнению некоторых исследователей—осадочного и вулканогенно-осадочного генезиса развиты в карбонатных породах нижнего мела (Мовсес) и в известковистых туфопесчаниках среднего эоцена (Привольное). В последнем случае наряду со свинцово-цинковым типом в рудах значительную роль имеет и медно-гематитовый тип оруденения.

### 1. Привольненское месторождение

Месторождение находится в Степанаванском районе и представлено пласто-, гнездо- и жилообразными телами среди туфопесчаников среднеэоценового возраста.

Согласно химическим анализам рядовая руда в среднем содержит Cd—100, Se—80, Te—8,0 г/т. В свинцовом концентрате содержится: Se—38,5, Te—25,7 г/т, в пиритовом: Se—

21,8, Te—9,2 г/т, в цинковом: Se—14, Te—12 г/т. Среднее содержание селена и теллура в галенитах составляет 100 г/т (Н. С. Хачатрян, Б. Д. Аюпян). В сфалерите содержание кадмия доходит до одного процента, изредка галлия — до 0,001%. В рудах месторождения встречен самостоятельный минерал кадмия — гринокит.

## 2. Джргалидзорское проявление

Проявление находится в верховьях р. Тавуш. Представлено в различной степени оруденелыми зонами с невыдержанными по мощности кварц-кальцитовыми, редко кварц-баритовыми прожилками, насыщенными вкрапленниками пирита, галенита и сфалерита. Содержания основных компонентов в рудах колеблются в широких пределах — от сл. до 8—10% Pb и до 15—20% Zn. По данным Н. С. Хачатряна и Б. Д. Аюпян в табл. 63 приведены результаты спектральных и химических анализов на редкие элементы, которые показывают, что цинковые концентраты проявления могут представить определенный интерес в отношении кадмия, галлия и германия, а свинцовые концентраты — таллия, селена и теллура.

Таблица 63

Содержания редких элементов в сульфидах проявления

Минералы	Содержание элементов, ‰						
	Se	Te	Cd	Ga	Ge	In	Tl
Пирит	0,0025	—	—	—	—	—	—
Сфалерит	0,005	Сл.	0,01—1	0,001—0,01	0,0011	0,00018 0,0011	0,00025
Галенит	0,01	0,002	—	—	—	—	0,1
Свинцово-цинковый концентрат	0,0045	До 0,005	0,02— 0,09	—	0,0005	—	—

## 3. Тауз-Булахское проявление

Проявление находится в 2 км к СЗ от предыдущего проявления и представлено зонами сильно измененных пород, содержащих прожилки, гнезда и вкрапленники сфалерита, галенита, пирита, халькопирита. Содержание свинца в рудах колеблется от 0,1 до 3%, а в отдельных местах достигает 10%, содержание цинка значительно меньше, оно не превышает 5%. Химическими и спектральными анализами в минералах

и рудных концентратах установлены: Se, Te, Cd, Ga, Ge, In. Приведенные ниже (табл. 64) результаты анализов заимствованы из работ Н. С. Хачатряна и Б. Д. Акопян. Они показывают, что наиболее высокие концентрации кадмия, галлия, германия и индия связаны со сфалеритами, а остальные элементы концентрируются в галените и отчасти в халькопирите.

Таблица 64

Содержания редких элементов в сульфидах проявления

Минералы	Содержание элементов, ‰						
	Se	Te	Cd	Ga	Ge	In	Tl
Халькопирит	0,0025	Сл.—0,003	—	—	—	—	—
Сфалерит (желтый)	—	Сл.	Сл.—1	Сл.—0,001	0,001	0,001	—
Галенит	0,0125	Сл.—0,0025	—	—	—	—	0,01—0,1

#### 4. Мовсесское месторождение

Месторождение расположено на южной окраине села Мовсес Шамшадинского района Армянской ССР. Оруденение представлено гнездообразными скоплениями, прожилками и вкрапленностью галенита и сфалерита среди нижнемеловых карбонатных пород. В минеральном составе руд в подчиненном количестве присутствуют также халькопирит, блеклая руда и другие минералы.

Наиболее интересным среди редких элементов для Мовсесского месторождения является кадмий, содержание которого в рудах колеблется от 0,02 до 3,9%. Среднее содержание Cd, по данным 700 проб, составляет 0,2% (Н. С. Хачатрян, Б. Д. Акопян). Особенно высокие содержания кадмия (до 10%) были установлены А. И. Карапетяном в сфалерите, что позволило предположить о наличии собственного минерала кадмия — гринокита. Однако детальные микроскопические исследования не подтвердили это предположение и поэтому остается заключить, что кадмий всецело входит в состав сфалерита, представленного пришибрамитом.

Кроме кадмия, в сфалерите спектральным анализом установлено: Ag—0,001 до 0,1%, Bi—0,003, Ga—0,003—0,005, In—0,001%. В отличие от сфалерита, галениты лишены примесей Bi, Ge, Ga, In и содержат Tl—сл.—0,1%, Se—0,0025, Ag—0,01—0,03, Cd—0,1%.

В оруденелом доломите спектральным анализом установлено: Zn—0,001, Ag—0,001, La—0,03—0,05%.

## 5. Марцигетская группа проявлений

Марцигетская группа полиметаллических проявлений размещена среди вулканогенных пород среднего эоцена и представлена жилами и прожилками.

В свинцовом концентрате (Pb—74,8%) содержится: Se—12 г/т, Te—следы, Tl—меньше 2,5 г/т, а в цинковом концентрате—Se—4 г/т, Te—следы. В сфалерите установлены: Se—16, Ga—4, In—меньше 2,5 г/т, Te—следы (Н. С. Хачатрян, Б. Д. Акопян).

Спектроскопически в сфалеритах обнаружены: серебро (0,0003—0,01%), кадмий (0,3—1,0%), галлий (до 0,0003%) и золото (до 0,01%). В галенитах установлены следующие редкие и благородные элементы: Te—0,03—0,1, Cd и Ag—0,001—0,03, Bi—0,001% (А. А. Коджоян).

\* \* \*

Характерной особенностью данной формации являются низкие содержания благородных и редких элементов по сравнению с рудами полиметаллической и колчеданно-полиметаллической формаций. Спектральными анализами золото установлено (до 0,01%) только в сфалерите Марцигетской группы месторождений. Содержание серебра в рудах также невысокое (18,6 г/т в Мовсесском месторождении). Оно приурочено главным образом к галениту, в котором содержание серебра возрастает от пластового типа (127,8 г/т в Мовсесском, 210,0 г/т — Привольненском месторождениях) к жильному (450 г/т—в Марцигетской группе). Небольшие содержания висмута (10—30 г/т) отмечаются в галените Марцигетского и сфалерите Мовсесского месторождений.

Несколько повышенные содержания селена отмечаются в жильном, теллура — в пластовом типах. В сфалеритах и цинковых концентратах обычно отмечаются следы теллура и до 0,005% селена. Основным носителем указанных элементов является галенит, в котором установлены до 0,0125% селена и 0,01% теллура.

Как обычно, содержания Cd, Ga, Ge и In в рудах контролируются сфалеритом. При этом привлекают внимание довольно высокие содержания Cd в сфалерите Мовсесского месторождения (до 10%), что служит основой предположения о наличии собственных минералов этого элемента. Следует отметить повышенные содержания германия и индия в прожилковых рудах, приуроченных к вулканогенным породам нижней юры (Шамшадинский рудный район), по сравнению с жиль-

ными и пластовыми типами, приуроченными к породам среднего эоцена.

Специфической особенностью данной формации, пожалуй, можно считать повышенные содержания таллия (до 0,1%) в галенитах Шамшадинского рудного района.

## Е. МЕДНО-МЫШЬЯКОВАЯ ФОРМАЦИЯ

Медно-мышьяковая формация на территории республики развита очень слабо и представлена единственным небольшим Мец-дзорским месторождением, руды которого по многообразию минерального состава и кристаллографическим формам и габитусам представляют определенный научный интерес.

### 1. Мец-дзорское месторождение

Мец-дзорское медно-мышьяково-полиметаллическое месторождение находится в Степанаванском районе Армянской ССР в 6 км к северо-востоку от с. Агарак.

Месторождение известно давно и частично разрабатывалось еще французскими концессионерами. В настоящее время из-за небольших запасов и низкого качества руд месторождение не разрабатывается. Минералого-геохимические особенности руд Мец-дзорского месторождения освещены в работах О. С. Степаняна, И. Г. Магакьяна и Н. С. Хачатряна. Специальные исследования по изучению характера распределения германия в рудах Мец-дзорского месторождения проводились А. И. Карапетяном (1964).

Оруденение представлено турмалиновыми, кварц-пиритовыми, кварц-пирит-энаргит-теннантитовыми и полиметаллическими зонами, жилами и прожилками, приуроченными к юго-западному крылу Алавердского антиклинория и тяготеют к системе контролирующих оруденение разрывных нарушений меридионального простирания. Оруденелые зоны прослеживаются на сотни метров до 1,5 км и имеют мощность от нескольких метров до 20—30 м.

Руды месторождения сформировались в следующие четыре стадии минерализации: турмалиновая, серноколчеданная, медно-мышьяковая, полиметаллическая. Наиболее интересными в отношении содержания редких и благородных элементов являются продукты третьей и четвертой стадий, в составе ко-

Таблица 65

## Содержания редких элементов в мономинеральных сульфидах и сульфосолях

Минералы	Стадии минерализации	Se, г/т	Te, г/т	Bi, г/т	Au, г/т	Ag, г/т	Ge, усл. ед.	In, г/т	Tl, г/т	Cd, г/т
Пирит	Серноколчеданная	25	16	10	Не обн.	3	Не обн.	—	—	—
Энарцит	Медно-мышьяковая	—	700	—	20	100	3	—	—	20
Теннантит	"	150	350	100	—	100	—	—	—	300
Сфалерит	Полиметаллическая	170	80	30	10	150	30	10	—	10000
Галенит	"	286	Не обн.	30	20	230	—	—	100	30

торых, кроме главных рудных минералов — халькопирита, энаргита, теннантита, галенита и сфалерита, в подчиненном количестве присутствуют также станнин, касситерит, эмплектит, пирротин, халькозин, ковеллин и др. По данным И. Г. Магакьяна, в энаргитовой руде, содержащей 3% As, установлены: Se—45, Te—20, Ge—6 г/т. Полиметаллические руды сравнительно богаты кадмием, индием и таллием.

В табл. 65 обобщены результаты анализов мономинеральных фракций, заимствованных из работ А. И. Карапетяна, Н. С. Хачатряна и Б. Д. Акопян. Привлекают внимание сравнительно повышенные содержания теллура, висмута, серебра и олова в энаргите и теннантите, селена в галените, кадмия в сфалерите и теннантите. Заслуживают внимания также энаргиты в отношении содержания золота, галениты—таллия, пириты—селена.

## Ж. ЖЕЛЕЗОРУДНЫЕ ФОРМАЦИИ

Железо образует концентрации в довольно разнообразных генетических типах и формациях руд. Можно отметить следующие генетические типы железных руд: магматические — гистеромагматические (Сваранц, Камакар), контактово-метасоматические (Раздан), высокотемпературные контактовые и гидротермально метасоматические (Цакери-дош, Мисхана, Боверигаш, Капутан) и осадочные (Агарцин). Указанные типы группируются в следующих формациях: титаномагнетитовая (Сваранц, Камакар), скарново-железорудная и гидротермально-метасоматическая (Раздан, Цакери-дош, Мисхана), апатит-магнетитовая (Капутан) и формация ископаемых россыпей магнетитовых песчаников (Агарцин). Указанные формации характеризуются разнообразными геологоструктурными условиями локализации руд, минеральным комплексом и ценными примесями второстепенных и редких элементов.

Титаномагнетитовая формация руд приурочена к габброидному комплексу пород (Сваранц) и пироксенитам (Камакар). Оруденение представлено линзами, гнездами, шширами и обогащенными вкрапленниками магнетита и титаномагнетита участками, при второстепенной роли ильменита, гематита и других минералов, приуроченных к дайкам оливинитов и пироксенитов.

Апатит-магнетитовая формация характеризуется своеобразной геологической обстановкой. Пластообразные тела, жилы, прожилки и зоны брекчиевидных руд приурочены к молодым постсарматским андезито-дацитам. Главными рудными

минералами являются магнетит и апатит, в формировании которых значительную роль играли гидротермальные процессы.

Формации скарново-железородная (Раздан) и высокотемпературно-гидротермально-метасоматическая (Кохб, Мисхана и др.) пространственно тесно связаны с экзоконтактами гранитоидов различного возраста. В некоторых месторождениях указанных формаций значительно возрастает роль гематита, а также сульфидных минералов.

Пластовые залежи ископаемых россыпей магнетитовых песчаников (Агарцин) приурочены к туфопесчаникам эоцена и контролируются прибрежной полосой эоценового морского бассейна. Руды состоят в основном из магнетита и титаномагнетита, при второстепенной роли рутила, ильменита и др.

## 1. Разданское месторождение

Железные руды горы Судагян были известны и частично разрабатывались еще в глубокой древности. О наличии здесь древних горных выработок указывалось еще в 1917 г. В. Меллером. Дальнейшее изучение месторождения связано с именами И. Г. Магакьяна, Э. А. Хачатуряна, Г. П. Багдасаряна, Э. Х. Гульяна и др. Специальные работы по изучению редких и благородных элементов в рудах месторождения проводились А. И. Карапетяном. Им здесь выявлена целая серия ранее неизвестных рудных минералов, среди которых определенную научную и (или) практическую ценность могут представить теллуриды золота, серебра, висмута, сульфиды и сульфосоли никеля, кобальта, молибдена, висмута, а также самородные золото и серебро. Эти минералы были установлены в тесной ассоциации с сульфидными минералами в пирит-халькопирит-магнетитовых и магнетит-полиметаллических рудах. По времени образования редкометальная парагенетическая ассоциация минералов, также, как и сульфидные руды, являются более поздними и в большинстве случаев наложены на продукты раннего или скарнового этапа минерализации. В целом руды Разданского месторождения образуют пластообразные залежи в скарнированных габбро-диоритах и перекрывающей их вулканогенно-осадочной толще.

В локализации оруденения решающую роль играл Разданский разлом северо-западного простирания, представляющий собой продолжение (или ответвление) Мармарикского регионального разлома.

Процесс формирования промышленных концентраций железных руд Разданского месторождения был длительным, на-

чиная с высокотемпературных скаполит-пироксен-гранатовых скарнов и кончая эпидот-кальцит-хлоритовой ассоциацией минералов. Магнетитовое оруденение развивалось в две основные стадии скарнового этапа. В первую или собственно скарновую стадию образовалась часть магнетита в ассоциации со скаполитом, гранатом и пироксенами. Подавляющая масса магнетитовых руд образовалась во вторую — водносиликатную стадию и сопровождалась интенсивным гипогенным разложением ранее образовавшихся скарновых минералов с замещением их эпидот-кальцит-хлоритовой ассоциацией. В эту же стадию, в конце скарнового этапа минерализации, образуется небольшое количество сульфидов. В процессе обеих стадий скарнового этапа минерализации образуются также апатит и сфен. Из редких и благородных элементов в рудах этих стадий некоторый интерес представляют элементы группы редких земель, цирконий, германий, серебро, возможно также золото. В этих же рудах были установлены сравнительно повышенные концентрации других рудных элементов (данные приводятся в табл. 66).

Анализ сменяющихся во времени парагенетических ассоциаций минералов позволяет заключить о значительной эволюции рудообразовательного процесса и, в частности, об изменении форм переноса рудных компонентов. Присутствие в ранних магнетитовых ассоциациях скаполита и хлорсодержащей гастрингситовой роговой обманки свидетельствует о значительной роли галлоидов, в частности хлора в переносе рудных компонентов.

С понижением температуры рудообразовательных процессов происходит повышение активности углекислоты, что приводит к образованию карбонатных комплексов. При этом галлоидная форма переноса железа уступает место бикарбонатной (?). Вместе с тем, обильное развитие эпидота в водносиликатную стадию указывает на значительную роль гидроксильного иона в рудоносных растворах, что, вероятно, свидетельствует об образовании комплексных соединений, включающих  $[\text{CO}_2]^{2-}$ ,  $[\text{OH}]^{1-}$  и др.

Дальнейшая эволюция рудообразовательного процесса приводит к значительному повышению потенциала серы. Происходит смена водносиликатной ассоциации минералов сульфидной. В начале позднего или гидротермального этапа минерализации образуется кварц-пирит-халькопиритовая ассоциация минералов со значительной ролью пирротина, арсенопирита, кобальтина, миллерита и других, сравнительно высокотемпературных минералов. С понижением температуры ка-

Результаты химического анализа штуфа магнетитовой руды  
и магнетита

Элементы	Содержания, г/т	
	Магнетитовая руда (штуфы)	Магнетит
ΣTR	15	Не опред.
Zr	42	15
Ge	—	0,6—13,5 усл. ед.
Ga	18	1,5
Ag	4,5	3
Au	Сл.	Сл.
Bi	—	23
Ni	14	17
Co	276	25
Ti	738	1825
Mo	1,5	7
Li	9	4,5
Sr	27	—
Ba	90	25
Cu	418	200
Zn	816	10
Pb	31	8

тионный состав растворов существенно меняется. Наряду с медью и железом, они обогащаются свинцом, цинком, золотом, серебром, теллуром, висмутом и другими элементами.

В этих рудах спектральным и химическим анализами были установлены: Ag—до 10,0, Bi—до 1000, Ni—до 300, Co—до 1000, Au — 10 (?), Te—до 300 г/т.

## 2. Абовянское месторождение

Обломки железных руд у селения Капутан были известны давно, о них упоминается в работах В. Меллера, К. Н. Паффенгольца и др. Коренные выходы магнетитовых руд впервые описаны И. Г. Магакьяном (1946). Дальнейшее изучение месторождения было осуществлено Капутанским отрядом ИГН АН Армянской ССР, в состав которого входили Э. А. Хачатурян, Г. О. Пиджян, Э. А. Арутюнян и Ц. Г. Акопян. Позже Армянским геологическим управлением — А. Р. Арутюняном, Ш. А. Арутюняном, К. Г. Саркисяном и др. здесь были начаты геологоразведочные работы, которые в настоящее время находятся в стадии завершения. Специальные работы по изучению редких и благородных элементов в рудах Абовянского месторождения проводились А. И. Карапетяном и Л. Б. Сарухяном.

Оруденение на Абовянском месторождении представлено пластообразными залежами, жилами и прожилково-вкрапленными зонами апатит-магнетитовых руд, развитых в измененных, раздробленных андезито-дацитах постсарматского возраста. По данным Л. Б. Саруханян, абсолютный возраст биотита из рудных прожилков составляет 5—6 млн. лет, что соответствует понту.

Размеры рудных тел колеблются в больших пределах, мощность массивных рудных тел колеблется от 5—7 до 70 м, а для прожилково-вкрапленных зон достигает 100 м.

Минеральный состав руд довольно прост и однообразен. Главным рудным минералом является магнетит, с ним почти постоянно в том или ином количестве присутствует медово-желтый апатит (фтор-apatит), в небольшом количестве встречаются также ильменит, гематит, пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, пирротин и другие минералы.

Из редких и благородных элементов наибольший интерес для руд Абовянского месторождения представляют элементы группы редких земель. В массивной апатит-магнетитовой руде установлены:

Ce — 1—3, La — 0,3—0,5, Y — 0,05%. Определены также: Ag — 0,001, Ga — 0,0003, Li — 0,0003%. В массивной магнетитовой руде, состоящей на 80—85% из магнетита, установлены: Nb — 0,003—0,01, Ag — 0,001, Li — 0,0003, Be — 0,001%. В чисто отобранном апатите спектральным анализом установлены: Y — 0,03—0,1, La — 0,3—1, Ce — 3, Yb — 0,03—0,1, Ag — 0,001, Li — 0,0006% (данные И. Г. Магакьяна, Г. О. Пиджяна и А. И. Карапетяна).

По данным Л. Б. Саруханян и Г. М. Мкртчяна (1968), сумма содержаний редких земель в апатитах Абовянского место-

орождения колеблется в пределах от 2,36 до 4,08% (табл. 67). При этом наиболее высокие содержания элементов группы редких земель установлены в апатитах из массивных магнетитовых руд, а наиболее низкие содержания в апатите из почти мономинеральных апатитовых жил. Как нетрудно заметить из приведенной таблицы, около 80—90% содержания редких земель составляют Ce, La и Nd, что позволило Л. Б.

Таблица 67

Пределы содержания редких земель в апатитах

Элементы	Пределы колебания в апатитах, %
La	0,64—1,10
Ce	1,36—2,30
Pr	0,05—0,09
Nd	0,22—0,44
Sm	0,02—0,03
Eu	0,001—0,0016
Gd	0,03—0,04
Dy	0,06—0,017
Er	0,0014—0,004
Tu	0,0003—0,0004
Yb	0,002—0,0038
Lu	0,0003—0,003
Y	0,10—0,14

Саруханян апатиты Абовянского месторождения отнести к минералам с селективно-цериевым составом.

### 3. Сваранцское месторождение

Месторождение расположено в Горисском районе в 4,5—5 км к югу от с. Сваранц, на северном склоне г. Арамазд (Баргушатский хребет).

Изучением Сваранцкого железорудного месторождения в разные годы занимались: О. Т. Оганесян, Э. Х. Гульян, Г. Б. Межлумян, С. И. Данелян, С. Г. Машурян и др. Специальные исследования по редким элементам проводили Н. С. Хачатрян и Б. Д. Акопян.

В геологическом строении района месторождения, по данным Г. Б. Межлумяна, принимают участие эффузивные и осадочные образования верхнего мела и прорывающие их интрузивные породы, которые весьма широко развиты и представлены довольно пестрым петрографическим составом.

Месторождение представлено серией (свыше двадцати) субмеридионально расположенных крутопадающих оливинсодержащих рудных тел дайкообразной и линзообразной форм. В минеральном составе магнетитовых оливинитов принимают участие магнетит, титаномагнетит, ильменит, шпинель, оливин и серпентин. В незначительном количестве встречаются пирит и халькопирит.

Руды Сваранцкого месторождения содержат незначительные примеси ванадия, галлия, таллия, индия, бериллия, тантала, ниобия и редких земель.

По данным Н. С. Хачатряна и Б. Д. Акопян, в железной руде химическими и спектральными анализами установлены: ванадий — от 0,012 до 0,3%, в среднем 0,071% (12 проб), таллий — 2,5 г/т, индий — 3 г/т, бериллий — 0,002%,  $Ta_2O_5$  — 0,003—0,005%, в среднем 0,0033% (5 проб),  $Nb_2O_5$  — 0,006%, сумма редких земель меньше — 0,005%. В магнетитовом концентрате:  $V_2O_5$  — 0,01—0,25%, в среднем 0,08% (16 проб), таллий — 2,5 г/т, индий — 3 г/т, бериллий — 0,003%,  $Ta_2O_5$  — 0,0018% (6 проб),  $Nb_2O_5$  — 0,006%.

По данным Г. Б. Межлумяна, в мономинеральных пробах и магнетитовых концентратах химическим анализом установлены следующие содержания редких элементов: в магнетите — Ge — 0,00015—0,007, в среднем 0,00042% (2 пробы), в гематите — Ge 0,0002%, в пирите — Ge — 0,00038, Se — 0,0036, Te — 0,0002%. В магнетитовом концентрате —  $V_2O_5$  — 0,2—0,6, Ga — 0,003, Se — 0,0002, Bi — 0,0092, Te — 0,0003 и сумма редких земель — 0,006%.

#### 4. Цакеридошское месторождение

Цакеридошское месторождение расположено в 3 км к северо-западу от сел. Кохб в экзоконтакте одноименного интрузивного массива.

Участок месторождения сложен средне-верхнеюрскими порфиритами, их туфами с линзами кристаллического известняка. Последние контактовым воздействием интрузии превращены местами в темно-серые эпидот-магнетит-гематитовые скарны.

Оруденение контролируется контактовой зоной интрузии кварцдиорита и порфиритов, их туфов и известняков. Рудные тела представлены пластообразными и линзообразными залежами.

Руды сложены из магнетита, гематита, мушкетовита, пирита, халькопирита, эпидота, хлорита, кварца и кальцита. Содержание железа в руде колеблется от 20 до 60%, в среднем составляет 25—30%.

В рудах месторождения установлены: Ge, Tl, TR, Ta, Nb, Be, Se, Te, In. По данным Н. С. Хачатряна и Б. Д. Акопян, низкие содержания Ge отмечены в железной руде и в магнетитовом и гематитовом концентратах.

Галлий и индий, по данным пяти проб, постоянно, но в небольших количествах присутствуют в руде. В магнетитовом и гематитовом концентратах их содержание по 7 определениям составляет меньше 2,5 г/т. Ниобий и тантал в пределах 0,002—0,005% отмечаются в рудах и в полученных концентратах магнетита и гематита. Селен и теллур обнаружены в пиритовом концентрате. Содержание селена по четырем пробам колеблется от следов до 11 г/т, в среднем 6 г/т, а теллура — от 8 до 25 г/т, в среднем 17 г/т.

#### 5. Агарцинское месторождение

Месторождение находится в 8 км к северо-востоку от гор. Дилижана, по левому борту ручья Агарцин, в 1—3 км от впадения последнего в р. Агстев. В 1947 г. месторождение осмотрено И. Г. Магакьяном и выдвинуто как объект, заслуживающий постановки магнитометрических и последующих разведочных работ.

В лесу, на высоте 50—100 м над р. Агарцин, прослеживаются на 2,5 км по простиранию три пласта магнетитовой руды, мощностью от 1—1,5 до 2 м, подчиненные туфопесчаникам эоцена.

Руды богатые: содержание железа составляет 30—50%, Ti — 5—7, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 0,1—0,2. Месторождение представляет ископаемую россыпь магнетитовых песчаников с примесью ильменита и рутила.

Ниже, по данным Н. С. Хачатряна и Б. Д. Акопян, приводятся содержания редких элементов в рудах и концентратах.

В рудах (Fe — 31,9%) установлены: галлий — 18 г/т, ниобий — от следов до 0,015%, в среднем из семи проб — 0,007%, тантала — от следов до 0,005%, в среднем — 0,0027%.

В концентратах (Fe—44,1%) установлены: галлий— 23 г/т, ниобий — от следов до 0,02%, в среднем 0,009% и тантала — 0,003—0,005%, в среднем — 0,0036%.

\* \* \*

Наиболее характерными и ценными примесями для титаномагнетитовой формации являются ванадий и титан. Содержания германия и галлия в рядовых рудах и магнетитовых концентратах примерно одинаковые, что указывает на связь этих компонентов и с силикатами. Наряду с этим отмечаются также небольшие примеси Se, Te, Tl, Be, Ag, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, формы нахождения которых в рудах изучены недостаточно.

Апатит-магнетитовая формация характеризуется повышенными содержаниями элементов из группы редких земель. По сравнению с предыдущей формацией содержания Ti и V здесь гораздо ниже.

Низким содержанием титана (и ванадия) характеризуются руды скарново-железорудной и гидротермально-метасоматической железорудной формаций. В связи с более поздними наложенными гидротермальными процессами возрастают содержания Ag, Bi, Au и Te. Установлены также небольшие примеси Nb, Ta, Ge, Ga, Li.

Магнетитовые песчаники Агарцинского месторождения по содержанию ряда редких элементов мало отличаются от магматических титаномагнетитовых руд. В рудах отмечаются повышенные содержания Ti (5—7%) и ванадия (0,1—0,2%). Из других элементов присутствуют Ga (18—23 г/т), Nb и Ta (30—90 г/т).

Таким образом, для магматических, а также осадочных титаномагнетитовых руд характерными примесями являются титан и ванадий, а для апатит-магнетитовой формации — связанные с апатитом редкоземельные элементы. В формациях, которые связаны с гидротермальными процессами, возрастает роль Au, Bi (Ag) и Te, в некоторых случаях также Ge и Ga.

### 3. МАРГАНЦОВАЯ ФОРМАЦИЯ

Формация марганцовых руд на территории республики развита очень слабо и представлена небольшими месторождениями кристаллических псиломелан-пиролюзитовых руд. В генетическом отношении эти месторождения принадлежат к экзогенно-осадочному типу, источник минерализации которых во всех случаях связан с подводными вулканическими извержениями.

#### 1. Саригюхское месторождение

Саригюхское месторождение представлено метасоматическими пласто-гнездообразными и штокверковыми рудами кристаллического пиролюзита. Химическим анализом в пиролюзите установлены: Re — 0,00018%, Tl — следы. Спектральный анализ пиролюзита показал Tl, Co, Mo от 0,001 до 0,01% (данные И. Г. Магакьяна).

По данным Н. С. Хачатряна и Б. Д. Акопян, сумма редких земель в марганцовой руде составляет 0,04%,  $Nb_2O_5$  — 0,005%,  $Ta_2O_5$  — 0,003%. В марганцевых концентратах установлено: таллий — от 1 до 7 г/т, в среднем 4 г/т. По данным трех проб, в марганцевых концентратах рений не обнаружен.

#### 2. Севкарское месторождение

Месторождение находится в 4 км к юго-западу от с. Севкар. Рудоносный горизонт залегает среди красновато-бурых известковистых туфоконгломератов, перекрытых тонкослоистыми туфопесчаниками. Мощность рудной зоны 4—5 м; по простиранию она обнажается на протяжении 50—60 м и далее перекрыта делювием.

В рядовой руде содержится: Mn — 31,87, Fe — 1,17%. Спектральным анализом в рудах установлены: As, Ni, Co, Mo, Cu, Tl.

По данным Н. С. Хачатряна и Б. Д. Акопян, химическим анализом в руде установлено:  $Nb_2O_5$ —0,01,  $Ta_2O_5$ —0,014%, в марганцевых концентратах установлен рений—0,0001%. В пиролюзите обнаружены следы селена, теллура и кадмия.

### И. ФОРМАЦИЯ НЕФЕЛИНОВЫХ И ЩЕЛОЧНЫХ СИЕНИТОВ

#### 1. Тежсарское месторождение

Тежсарский комплекс щелочных и нефелиновых сиенитов расположен в центральной части Армянской ССР и входит в Разданский и частью Кироваканский районы.

Детальные геолого-петрографические исследования Г. П. Багдасаряна позволили выделить и оконтурить участки нефелиновых сиенитов, обогащенных нефелином, и рекомендовать их как сырье на глинозем. Запасы их практически неисчерпаемы. Одновременно с разведкой двух участков (Такярлинский и Тежагетский), имеющих выгодные технико-экономические условия для исследований, в Институте химии под руководством М. Г. Манвеляна, была разработана принципиально новая технологическая схема переработки нефелиновых сиенитов на глинозем, а также цемент, поташ, соду, моносилкат и др. Успешные лабораторные и полужаводские испытания поставили вопрос о разработке нефелиновых сиенитов как высокоглиноземистого сырья.

Вопросы геологии и петрографии, отчасти минералогии и геохимии нефелиновых сиенитов и связанной с ними редкометальной минерализации в разные годы изучались В. Н. Котляром (1958), Г. П. Багдасаряном (1947), А. Г. Мидяном (1952), Г. Е. Кочиняном, И. Г. Магакьяном, А. Бабаджянном и др. В последние годы, в связи с проблемой комплексного извлечения элементов из продуктов переработки нефелиновых сиенитов, в ИГН в течение 1960—1962 гг. велись детальные минералогическо-геохимические исследования, по результатам которых написан настоящий раздел (Б. М. Меликсетян, 1965).

Тежсарский щелочный комплекс верхнеэоценового возраста представляет собой крупный pluton центрального типа, состоящий из центрального штока и окаймляющего его конического интрузива, отделенного барьером щелочных эффузивов. Общая площадь массива 45 кв. км. Практический интерес как сырье на глинозем представляют участки, обогащенные нефелином (20—35%), содержащие 21—23,5%  $Al_2O_3$  при сумме щелочей 10—15%. Выделены три участка — Такярлинский, Тежагетский и Уляшиковский, однако детально разведан и изучен первый участок, который и намечается разрабатывать. Размеры Такярлинского участка 150 м по мощности и 400—500 м по протяженности.

Помимо этих участков, обогащенных нефелином, нефелиновыми и псевдолейцитовыми сиенитами типа фойяитов, приуроченными к эндоконтам центрального штока, здесь развиты также нормальные нефелиновые, щелочные, анальцимовые, меланитовые, сфеновые и другие разновидности сиенитов.

Среди широко развитых жильных образований небольших размеров встречаются нефелиновые сиенит-порфиры, аплиты, нефелиновые и безнефелиновые пегматиты.

По особенностям химизма Тежсарский щелочный комплекс относится к переходному от миаскитового к агпайтовому

типу и принадлежит к вулканоплутоническим сериям трахибазальтовой формации (Г. П. Багдасарян, Б. М. Меликсетян, 1963).

В минеральном составе щелочных пород широко представлены: олигоклаз, альбит, калишпат, нефелин, гастингсит, эгирин, биотит и вторичные минералы (цеолит, анальцим и др.). Из аксессуарных характерны и широко развиты магнетит, меланит, сфен, апатит, флюорит, а также рутил, анатаз, эпидот. В меньшем количестве, но постоянно встречаются, редкометальные аксессуарии — циркон, циртолит, бадделейт, велерит, пирохлор, торит, лопарит, ортит и монацит, пределы колебания и средние содержания которых, по данным количественных подсчетов в г/т, приведены в табл. 68. Более обогащены редкометальными минералами пегматитовые образования, в которых, кроме указанных, установлены: ильменорутил, бетафит, эвксенит, брилолит, ринколит, ураноторианит и др.

Таблица 68

Количественные соотношения редких аксессуарных минералов, содержащих редкие элементы

Минералы	Пределы колебания, г/т	Средние содержания, г/т	Минералы	Пределы колебания, г/т	Средние содержания, г/т
Меланит	3000—12000	8000	Бадделейт	30—160	90
Сфен	1000—11000	8200	Велерит	10—60	40
Апатит	200—6000	4500	Пирохлор	5—10	6
Флюорит	600—2800	1900	Лопарит	3—5	4
Циркон	50—400	260	Монацит	50—80	60
Циртолит	8—20	12	Ортит	10—60	30
Торит	5—30	15	Турмалин	5—10	5

Нефелиновые сиениты характеризуются заметно высокими содержаниями Rb (табл. 69); более высокими содержаниями характеризуются пегматиты: Li — 0,01—0,02%, Rb — 0,09%, Cs — 0,03%. Редкие щелочные металлы постоянно встречаются в нефелине, калишпате, олигоклазе, а также в биотите, эгирине и гастингсите (табл. 70). Аксессуарии содержат незначительные их количества. Наиболее обогащены литием (0,30%), рубидием (0,042%) и цезием (0,003%) биотиты. В нефелинах их содержание составляет Li—0,01%, Rb—0,008%, а в полевых шпатах: Li—0,003%, Rb—0,028%, Cs—0,003%. Максимальные количества рубидия (0,1—0,3%) установлены в мусковитизированных разностях и мусковитах.

Весьма типичным для нефелиновых сиенитов является галлий. По данным Г. П. Багдасаряна и И. Г. Магакьяна, он установлен в нефелине, амфиболе и других минералах в содержаниях 0,01—0,1%. По результатам химических определений содержание галлия в нефелиновых сиенитах составляет 0,0025—0,0015%, а в нефелине — 0,002—0,003%.

Характерен в породах бериллий. По данным А. Г. Мидяна, содержания бериллия в пегматите достигают 0,1%, а в большинстве минералов не ниже 0,001%. По данным количественных спектральных анализов, в нефелиновых сиенитах 0,0003—0,0005, а главная его масса сконцентрирована в алюмосиликатах, в нефелине (0,0008%), олигоклазе, калишпате и др. (0,0003%).

В нефелиновом концентрате из Тежсарского месторождения установлены: Li — 0,01, Be — 0,0008, Rb — 0,008, La — 0,03, Sr — 0,01, Ce — 0,03, Sc — 0,001, Cs — 0,003, Ga — 0,003, Tl — 0,003, Y — 0,001%.

Количественным спектральным анализом установлен галлий — 0,006%, связанный в основном с нефелином и калишпатом. Редко устанавливается скандий — 0,003%, концентрирующийся в темноцветных акцессорных минералах.

Значительный интерес представляет повышенное содержание в нефелиновых сиенитах ниобия. Химическими анализами (табл. 69) установлено 0,0015% ниобия и 0,0003% тантала. Однако более высокие содержания приурочены к альбитизированным и мусковитизированным нефелиновым сиенитам, содержащим до 0,1—0,3% ниобия. В породах обнаружены пирохлор, гатчеттолит, ильменорутил, велерит, лопарит, однако их содержание незначительно. Главная масса ниобия и тантала пород связана с титановыми акцессориями. Химически в сфенах из нефелиновых сиенитов обнаружено 0,1—0,2% Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, из псевдолейцитовых сиенитов — 0,40%, а в сфенах из пегматитов 0,5% Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, в меланите — 0,01%, анатазе и рутиле — 0,3—1,0%, бадделеите — 0,05% и др.

Таблица 69

Средние содержания элементов-примесей в нефелиновых сиенитах

Элементы	Содержание, г/т	Элементы	Содержание, г/т	Элементы	Содержание, г/т
Литий	30	Ниобий	15	Иттрий	20
Бериллий	50	Тантал	3	Торий	30
Рубидий	160	Цирконий	250	Уран	4
Цезий	10	Гафний	3	Скандий	3
Галлий	20	Редкие земли	600	Бор	30

Наиболее обогащен редкими элементами сфен щелочных пород, где их содержание достигает 0,8—1,0%; есть различия сиенитов с 5—10% сфена и меланитовые сиениты с 10—15% граната.

В сфенах химически установлены 2,6—3,1%  $\Sigma \text{TR}_2\text{O}_3$ , 0,4  $\text{Y}_2\text{O}_3$ , 0,2—0,5%  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ , 0,01%  $\text{HfO}_2$ , 0,1%  $\text{ZrO}_2$ , 0,0003% Be, причём из 3,1%  $\text{TR}_2\text{O}_3$  на церий приходится 1,5%, лантан—0,5%, празеодим—0,3 и неодим—0,70% и остальные TR—0,1%.

Таблица 70

Распределение лития, бериллия, рубидия, галлия и скандия в минералах нефелиновых сиенитов

Минералы	Содержание в породах	Содержание элементов, вес. %				
		Li	Be	Rb	Ga	Sc
Олигоклаз	10—20	0,003	0,0002	0,006	0,001	—
Калишпат	60—70	0,003—0,01	0,0003	0,028	0,001	—
Нефелин	10—35	0,01	0,0008	0,008	0,003	0,001
Биотит	1—5	0,1—0,3	0,001	0,042	0,002	0,002
Эгирин	0—5	0,001	0,0005	—	0,001	0,005
Гастингсит	2—5	0,03—0,1	0,003	—	0,003	0,003

Другим важным минералом сиенитов является меланит, содержащий, по данным химических анализов, 0,43%  $\text{TR}_2\text{O}_3$ , 0,1%  $\text{Y}_2\text{O}_3$ , 0,03%  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  и 0,25%  $\text{ZrO}_2$ .

Очень характерны высокие концентрации в нефелиновых и псевдолейцитовых сиенитах редкоземельных элементов и TR-содержащих минералов. Концентрации редкоземельной минерализации устанавливаются и в постмагматической стадии в виде брекчированных флюоритовых зон, относящихся к фторкарбонатной формации.

В нефелиновых и псевдолейцитовых сиенитах содержание  $\text{TR}_2\text{O}_3$ , по данным химических определений, различное. В нефелиновых сиенитах достигает 0,04—0,06%  $\text{TR}_2\text{O}_3$ , а в богатых нефелиновых псевдолейцитовых сиенитах 0,01%, в пегматитах 0,12%. Помимо собственно редкоземельных минералов (ортит, монацит и велерит), высокие концентрации редких земель содержат также кальциевые акцессории, на долю которых падает 75% от содержания в породе: в сфенах — 2,6—3,12%  $\text{TR}_2\text{O}_3$ , меланитах — 0,43, апатитах — 1,21, флюоритах — 1,5 и цирконах — 0,60%  $\text{TR}_2\text{O}_3$  (табл. 71, 72).

Для нефелиновых сиенитов и кальциевых акцессориев наиболее характерны лантаноиды церневой подгруппы — 85,95%.

Средние содержания редких земель, иттрия, ниобия, гафния, скандия, тория, урана, циркония в аксессуарных минералах

Минералы	Содержание минерала в породе, вес. %	Содержание, %							
		$\Sigma TR_2O_3$	$Y_2O_3$	$Nb_2O_5$	$ZrO_2$	$HfO_2$	$Sc_2O_3$	$ThO_2$	Уобщ.
Апатит	0,45	1,21	0,30	—	—	—	—	0,01	0,003
Сфен	0,82	3,12	0,40	0,40	0,10	0,01	0,001	0,02	0,024
Циркон	0,03	0,60	0,30	0,30	45,0	0,45	0,005	0,40	0,042
Меланит	0,80	0,43	0,10	0,10	0,25	0,005	0,003	0,02	0,002
Флюорит	0,19	1,50	—	—	—	—	—	0,01	0,005

Таблица 72

Содержание отдельных лантаноидов в аксессуарных сфенах, апатитах, цирконах, меланитах и флюоритах

Минералы	Содержание, %	Содержание редких земель в % от $\Sigma TR_2O_3$ , принятой за 100%												
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb
Апатит	1,21	23,0	46	6,4	21,5	1,3	0,3	1,0	0,2	0,4	—	—	—	—
Сфен	3,12	16,5	44,5	7,8	22,4	3,4	0,3	2,4	0,2	1,2	0,1	0,5	—	0,4
Циркон	0,60	14,0	36,0	4,6	13,0	2,4	0,5	2,5	0,4	3,6	1,5	8,5	2,0	1,02
Меланит	0,43	11,7	29,0	5,9	15,4	6,1	1,1	5,9	1,0	7,8	1,3	6,7	0,55	9,0
Флюорит	1,50	28,0	39,0	4,9	21,6	2,9	0,4	1,8	0,2	1,0	0,1	0,4	—	—

Иттриевые редкие земли обнаружены в цирконах и меланитах до 25—30% от  $\Sigma TR_2O_3$ . Родственный редким землям иттрий менее характерен для нефелиновых пород — 0,002% и минералов: сфены — 0,2—0,5%  $Y_2O_3$ , меланиты — 0,03—0,1%, флюориты — 0,05—0,15%, апатиты — 0,1—0,3%, в тысячных долях процента устанавливается во всех породообразующих минералах.

Следует отметить, что высокие концентрации редких земель приурочены к зонам флюоритизации в нефелиновых сиенитах. Несколько таких участков отмечается в районе Уляшиковского ущелья. Последние изучались Г. Е. Кочиняном и А. Бабджаняном. По нашим данным в Омарском и Лагерном участках химическими анализами установлено 0,075—0,23%  $TR_2O_3$ . При этом в флюоритовых брекчированных рудах отмечаются бастневит, паризит, ильменорутил, эвксенит, монацит, брито-

лит, чевкинг, ортит и вторичные по ним минералы. Флюорит этих зон характеризуется вдвое меньшим содержанием редкометалльных, в основном цериевых, элементов, равным 0,7%  $\Sigma TR_2O_3$ , чем флюорит из нефелиновых сиенитов.

Другими важными элементами нефелиновых сиенитов, могущими представить интерес, являются цирконий и гафний. Содержание циркония в зонах, богатых нефелином, составляет 0,03%, редко 0,06%, связано в основном с цирконом, бадделейтом и велеритом. Последние обогащены также гафнием (табл. 71, 72). По данным рентгеноспектральных анализов, нефелиновые сиениты содержат 0,0002—0,0003%  $HfO_2$ , а цирконы — 0,35—0,67, бадделейт — 0,3—0,5, велериты — 0,03—0,1, сфены — 0,01.

Химические анализы циркониевых концентратов показывают 0,6%  $TR_2O_3$ , 0,3%  $Y_2O_3$ , 0,35—0,67%  $HfO_2$ , 0,003—0,01%  $Sc_2O_3$ , 0,4%  $ThO_2$ , 0,042%  $U_{обш.}$ , 0,0001—0,0003%  $Be$  и 29—67%  $ZrO_2$ .

Попутно с указанными редкими элементами и их минералами встречаются уран и торий. Это обстоятельство имеет большое значение и может быть использовано как поисковый критерий.

В нефелиновых и псевдолейцитовых сиенитах среднее содержание радиоэлементов составляет: 0,0004% урана и 0,003% тория. Главная масса атомов урана и тория связана в сфенах ( $ThO_2$ —0,01%,  $U$ —0,024%), флюоритах (0,01%  $Th$ , 0,005%  $U$ ), меланитах (0,022%  $Th$  и 0,001%  $U$ ), ортите (1,28%  $Th$  и 0,0024%  $U$ ), велерите (0,03—1%  $Th$  и 0,1—0,5%  $U$ ). Редко отмечаются торит, пирохлор и торинанит.

И, наконец, отметим несколько повышенные содержания в нефелиновых сиенитах бора (0,003%) и фтора (0,15—1,35%).

В табл. 73 дается распределение редкометалльной минерализации в пегматитах, связанных с нефелиновыми сиенитами.

Таким образом, нефелиновые сиениты и обогащенные нефелином разности псевдолейцитовых сиенитов содержат в повышенных количествах определенный комплекс таких редких элементов, как  $Li$ ,  $Rb$ ,  $Cs$ ,  $Be$ ,  $Ga$  и отчасти  $Sc$ , связанные в основном с главными породообразующими минералами:  $Nb$ ,  $Zr$ ,  $Hf$ ,  $Th$ ,  $Y$ ,  $TR$ , отчасти  $Sc$  и  $U$ —с тяжелыми акцессорными минералами, широко распространенными в породах (сфен, меланит, апатит, циркон, флюорит), или образуют редкие акцессорные минералы (велерит, пирохлор, лопарит, ортит, монацит и бадделейт). Более высокие концентрации редких элементов и их минералов приурочены к альбитизированным и флюоритизированным участкам нефелиновых сиенитов или сложнотемпелитовых пегматитов.

Распределение ассоциаций главных, второстепенных и редких акцессорных минералов в пегматитах Тежсарского комплекса

Минералы (элементы)	Группы пегматитов	
	полевошпатовые без- нефелиновые пегматиты	полевошпат-нефелино- вые пегматиты
Главные пегматито- образующие мине- ралы	Микроклин, олигоклаз, гастингсит, биотит, ме- ланит	Микроклин, олигоклаз, биотит, эгириин, гастинг- сит, нефелин, содалит и меланит
Минералы поздних замещающих комп- лексов	Альбит, мусковит, ко- рунд	Альбит, мусковит, кан- кринит, карбонат, цеол- литы
Th и U	Торит, торнанит, пиро- хлор	Пирохлор, лопарит, ве- лерит, ильменорутил
TR и Y	Монацит, ортит, ринко- лит (?), ксенотим, ве- лерит	Монацит, ортит, велерит, бритолит, паризит (?)
Nb, Ta	Эвксенит, бетафит, пи- рохлор	Пирохлор, велерит, ло- парит, ильменорутил, гатчеттолит
Zr	Циркон, циртолит	Циркон, циртолит, ве- лерит
Fe, Ti	Титаномagnetит, сфен, меланит, ильменит, анатаз, пирят	Магнетит, сфен, мела- нит, ильменит, лейко- ксен, рутил
B, F, Cl	Турмалин, фторапатит	Турмалин, флюорит, хлорапатит, содалит
Cu, Pb, Zn, Mo	Халькопирит, галенит, самородная медь, мо- либденит, сфалерит	Халькопирит, сфалерит, борнит
Второстепенные ми- нералы	Эпидот, кальцит, gros- суляр	Туллит, везувиан, лам- профилит (?), корунд

## 2. Мегринское месторождение

Мегринский комплекс щелочных и нефелиновых сиенитов находится в южной части Армянской ССР и входит в Мегринский административный район.

Детальные геолого-петрографические исследования А. И. Адамяна, а еще ранее Ю. А. Арапова и В. П. Асратяна позволили рекомендовать щелочные породы района как сырье для получения глинозема. Как показали лабораторные исследования мегринских щелочных сиенитов, содержащих незначительное количество нефелина, при химическом обогащении по методу М. Г. Манвеляна, получается концентрат с содержанием 29—32% глинозема. Запасы лейкократовых щелочных сиенитов практически не исчерпаемы.

Мегринский щелочной комплекс образует самостоятельную субфазу, петрографически связанную с ранней монцитовой фазой плутона. Представлены они щелочными, нефелин-содержащими пегматоидными лейкократовыми сиенитами, нефелиновыми монцититами, альбититами и двумя сериями пегматитов: ранними калиевыми микроклин-мусковитовыми и поздними натриевыми нефелин-сиенитовыми. Общая площадь распространения щелочных пород примерно 25 кв. км.

Содержание глинозема в породах достигает 21—23% при сумме щелочей 9—11%. По особенностям химизма щелочные породы относятся к миаскитовому типу (коэффициент агпаитности 0,5) и относятся к комплексам гранитоидной формации.

Щелочные породы сложены олигоклаз-андезином, микроклином, феррогастингситом, биотитом, эгирин-авгитом, нефелином и вторичными минералами.

Среди аксессуарных минералов наибольшим распространением пользуются ассоциации кальциевых TR-содержащих минералов: сфен, апатит, ортит, флюорит. Реже встречаются циркон, ильменит, циртолит, монацит, турмалин и еще реже редкометальные минералы — бетафит, бадделейт и торит (табл. 74). Наиболее обогащены редкометальными минералами щелочные пегматиты, где установлены бериллиевые (хризоберилл, гадолинит), ураноториевые (торит, торианит, уранинит, ураноторианит), танталониибиевые (эвксенит, самарскит, фергусонит, блонстрандин, пироклор, гатчеттолит, бетафит, ильменорутил, иттриаллит, церит, роуландит, лантанит, ксенотим, циртолит, малакон) минералы.

Как видно из табл. 75, литий отмечается повсеместно в содержании  $3,5 \cdot 10^{-3}\%$ , в пегматитах — 0,02%. Литий установлен в эгирин-авгитах (0,001%), биотите (0,03—0,1%), турмалине (0,03%), мусковите (0,1—0,3%), в полевых шпатах (0,001—0,003%) и др. Рубидий менее характерен — 0,001%, накапливаясь в биотите (0,030%) и калишпате (0,017%).

Повышено содержание бериллия в породах —  $8 \cdot 10^{-4}\%$ . Бериллий связан с полевыми шпатами (0,0003—0,01%), нефелином (0,003—0,01%) и с другими минералами: ортитом

Содержания аксессуарных минералов в щелочных сиенитах

Минералы	Пределы содержания, г/т	Среднее содержание, г/т	Минералы	Пределы содержания, г/т	Среднее содержание, г/т
Апатит	500—14000	6400	Бегафит	5—10	6
Циркон	1000—6000	2100	Бадделейт	10—100	40
Сфен	5000—30000	7500	Торит	10—100	30
Циртолит	100—200	150	Флюорит	500—6000	1500
Ортит	50—200	100	Турмалин	50—200	150
Монацит	300—2000	500	Анатаз	10—20	15

Таблица 75

Среднее содержание редких элементов в щелочных сиенитах

Элемент	Содержание, г/т	Элемент	Содержание, г/т	Элемент	Содержание, г/т
Литий	60	Барий	2500	Редкие земли	910
Бериллий	10	Стронций	1500	Иттрий	30
Рубидий	10	Титан	2900	Торий	25
Галлий	60	Цирконий	250	Уран	6
Ниобий	100	Гафний	3	Бор	20

(0,003%). Кроме того, в пегматитах установлены хризоберилл и гадолинит.

Наиболее распространенный и типичный для щелочных пород рассеянный элемент — галлий. Его содержание в породах достигает 0,006%, а в нефелиновых пегматитах — 0,01%. В основном галлий концентрируется в полевых шпатах и темноцветных минералах (табл. 76). Максимальные содержания установлены в нефелине — 0,003—0,01% и корунде (0,3%).

Почти во всех разновидностях щелочных сиенитов установлен ниобий — 0,01%, в пегматитах — 0,3—1,0%. Часть его сконцентрирована в сфене (0,01—0,03%), циртолите (0,1%), ортите (0,01%), бадделейте (0,05%), биотите (0,03%), реже в титаномагнетите (0,01%). Кроме того, в породах установлен бегафит, а в пегматитах — эвксенит, самарскит, фергусонит, эшинит, гатчеттолит, пирохлор и другие титано-танталониобаты. Тантал целиком вместе с ниобием рассеивается в титановых и ниобиевых минералах: сфенах (0,01%), анатазе (0,03%).

Характерным для щелочных пород является присутствие циркония и гафния (табл. 75). Содержание Zr —  $2,5 \cdot 10^{-2}$ %, Ni —  $2,9 \cdot 10^{-4}$ %. Цирконий, помимо собственных минералов — циркона и бадделейта, устанавливается в эгириин-авгитах (0,1%), сфене (0,01%), биотите (0,03%) и др., а гафний в ос-

новном в цирконах (0,49%), бадделеите (0,3%) и сфене (0,01%).

Скандий менее характерен для щелочных сиенитов Мегринского комплекса и связан в основном с редкоземельными и феррическими минералами пород.

Редкие земли, как и иттрий, образуют заметные концентрации как в самих щелочных породах, так и в пегматитах, но особого внимания заслуживают экзоконтактовые фенитизированные породы, кварц-карбонатные жилы и зоны флюоризации.

В породах, по данным химических анализов, устанавливается 0,091%  $\text{TR}_2\text{O}_3$ , в альбитизированных разностях—0,12%, а в пегматитах — 0,15—0,25%. Химическими анализами высокие содержания редких земель установлены: в апатите (2,4%  $\text{TR}_2\text{O}_3$ ), сфене (1,65%), цирконе (0,30%), ортите (21,0%), монаците (62,3%), флюорите (0,03—0,1%).

Как следует из табл. 77 и 78, главная масса редких земель цериевой подгруппы (85—96%) приходится на сфен, ортит, апатит и лишь 15—20% от  $\Sigma\text{TR}$  на циркон, циртолит и флюорит.

Химический анализ циртолита из нефелиновых пегматитов показал:  $\text{ZrO}_2$  — 63,  $\text{HfO}_2$  — 2,55,  $\text{TR}_2\text{O}_3$  — 0,70,  $\text{Y}_2\text{O}_3$  — 3,0,  $\text{ThO}_2$  — 1,65, U — 3,0%, причем  $(\text{La}, \text{Ce})_2\text{O}_3$  составляет 0,14%,  $(\text{Tb}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Yb})_2\text{O}_3$  — 0,5%. В пегматитах, кроме обычных для пород ортита и монацита, устанавливается церит, лантанит и роуландит, а также значительное количество редкоземельно-радиоактивных тантало-ниобатов. Особенно богаты редкими землями участки сиенитов, содержащие высокие концентрации сфена (3—5%), флюорита (1—3%), апатита (2—3%) и др.

Тесно связанный с лантаноидами иттрий довольно характерен для щелочных сиенитов. Содержание его постоянно и равно 0,003%, а в калиевых пегматитах 0,02—0,03%. Минералы мегринских щелочных сиенитов обогащены также иттрием: в апатите — 0,1, сфене — 2,5, цирконе — 1,0, ортите — 0,16, монаците — 2,5, флюорите — 0,3—1,0%. Иттрий в тысячных долях процента устанавливается во всех аксессуарных и породообразующих минералах.

Торий и уран являются одними из ведущих редких элементов сиенитов. Их содержание ( $\text{Th} — 2,5 \cdot 10^{-3}$ , U —  $5,6 \cdot 10^{-4}$ %) намного выше содержания в породах мегринского плутона. Как видно из табл. 77, основными носителями радиоэлементов в породах являются кальциевые и редкометалльные (Zr, TR, Nb—Ta) минералы. Кроме того, в породах установлен торит, а в пегматитах — торнанит, уранинит, ураноторианит и настуран. Последний также весьма характерен для кремненно-карбонатизированных жил.

Средние содержания галлия, лития, бериллия, скандия и рубидия в породообразующих минералах щелочных сиенитов\*

Минералы	Содержание в породе, %	Среднее содержание элемента, ‰				
		Li	Be	Rb	Ga	Sc
Олигоклаз-андезин	20—35	0,001	0,0003	—	0,002	—
Калишпат	45—50	0,003	0,0006	0,017	0,003	—
Нефелин	0—3	0,001	0,003—0,01	—	0,01—0,03	—
Биотит	1—5	0,03—0,1	0,003	0,030	0,003	0,001
Эгирин-авгит	1—3	0,001	0,001	—	0,001	0,003
Феррогастингсит	5—10	0,002	0,001	—	0,003	0,001

\* Данные приведены по результатам пламенно-фотометрических (Rb), количественных (Be, Sc) и полуколичественных спектральных анализов (Li, Ga).

Таблица 77

Средние содержания редких земель, иттрия, ниобия, гафния, скандия, тория и урана в аксессуарных минералах

Минералы	Содержание минерала, вес. %	Содержание в минерале, ‰						
		TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	HfO <sub>2</sub>	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ThO <sub>2</sub>	U <sub>общ.</sub>
Апатит	0,64	2,40	0,10	—	—	—	0,06	0,005
Сфен	0,75	1,65	2,50	0,30	0,03	—	0,18	0,055
Циркон	0,21	0,30	1,00	0,01	0,49	0,003	0,07	0,040
Ортит	0,01	21,0	0,16	0,01	—	0,001	1,28	0,012
Монацит	0,05	62,3	2,50	—	—	0,03	5,26	0,620

Бор и фтор являются постоянными спутниками редких элементов: их содержания в породах довольно высокие и составляют: В — 0,002, F — 0,12%.

В табл. 79 дается распределение редкометалльных аксессуарных минералов в щелочных пегматитах щелочного комплекса. Они многочисленны и образуют кучные скопления (Тегут, Кармиркар, Шванидзор, Гюморанц и др.). Все они заметно минерализованы, особенно замещенные разности. Размеры тел небольшие (мощность — 0,5—2, протяженность — 30—150 м). Кучность распределения тяготеет преимущественно к эндоконтактам и высокие содержания в них редких элементов заслуживают определенного внимания.

Содержания отдельных лантаноидов в акцессорных сфенах, апатитах цирконах, ортитах и монацитах

Минералы	Содержание минерала, вес. %	Содержание редких земель в % от $\Sigma TR$ , принятой за 100													
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Апатит	2,40	25,0	44,0	4,4	23,0	1,8	0,2	1,1	0,2	0,5					
Сфен	1,65	19,0	43,0	6,1	23,0	3,4	0,3	0,9	0,15	0,9	0,2	0,3	—	0,2	—
Циркон	0,30	18,0	45	3,4	3,0	1,5	0,1	1,5	0,2	2,3	0,5	5,0	1,0	1,0	1,9
Ортит	21,0	32,0	58,0	3,4	6,5	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Монацит	62,3	3,0	44,5	6,8	12,0	1,1	0,2	0,2	—	0,4	—	2,1	1,9	0,2	—

Из общих особенностей распределения редких элементов в щелочных сиенитах отметим заметно повышенное содержание элементов, характерных для кислых магм (U, Y, В, Та и др.).

Из рассмотренных ассоциаций редких элементов Li, Rb, Cs, Be, Ga и отчасти Sc связаны с алюмосиликатами пород, а TR, Y, Nb, Ta, Zr, U, Th — преимущественно с акцессорными минералами, либо, как правило, образуют самостоятельные минералы, особенно в пегматитах. Среди щелочных пород наиболее обогащенными редкими элементами бывают альбитизированные и флюоритизированные эндоконтактные участки. Заслуживает внимания зона фенитов северного экзоконтакта, где широко проявлена амфиболизация.

\* \* \*

Формация нефелиновых и щелочных сиенитов характеризуется специфической ассоциацией редких элементов (табл. 81). Минералого-геохимические исследования щелочных комплексов Армении (Меликсетян, 1962, 1963) позволили выявить ассоциации и состав акцессорных минералов и выяснить закономерности распределения редких элементов. Эти исследования дали возможность установить концентрации редких элементов в нефелиновых сиенитах Тежсарского комплекса, а также выявить главные минералы-носители редких элементов. Из большой группы изученных редких элементов по своей концентрации и характеру распределения в нефелиновых сиенитах наибольший интерес представляют Be, TR, Zr, Hf, Nb, Th, Ga и отчасти Y. Кроме того, следует отметить и такие элементы, как Ti, Sc, Ba, Sr, Rb, Ta, F и др.

В связи с использованием нефелиновых сиенитов как высокоглиноземистого сырья для получения алюминия, есте-

Распределение ассоциаций главных, второстепенных и акцессорных минералов в щелочных пегматитах Мегринского плутона

Минералы	Группа пегматитов		
	Ранние, калиевые, полевошпатовые, полевосплат-мусковитовые пегматиты	Поздние, натриевые, полевошпатово-фельдшпатоидные пегматиты	
Главные пегматитообразующие минералы	Микроклин, <b>плаггиоклаз</b> (олигоклаз-андезин), амфибол, биотит	Калинатровый полевой шпат, плаггиоклаз (олигоклаз, олигоклаз-андезин), биотит, нефелин, содалит, канкринит, эгирин, феррогастингсит, меланит	
Минералы поздних наложенных замещающих комплексов	Альбит, мусковит, кварц, корунд	Альбит, мусковит, содалит, канкринит, шабазит, натролит, карбонат	
Редкометалльные и акцессорные минералы	Минералы Th, U	Торит, торианит, уранитит (бреггерит)	Торит, торианит, ураноторианит
	Минералы Ti, Nb, Ta	Эвксенит, самарскит, фергусонит, блонстрандин-приорит	Пирохлор, гатчеттолит, бетафит, ильменорутит, блонстрандин-приорит, эшинит, вивикит
	Минералы Y, TR	Монацит, ортит, иттриалит, церит, ксенотим, гадолинит	Монацит, ортит, церит, роуландит, лантанит
	Минералы Zr	Циртолит, малакон, циркон	Циркон, малакон, бадделент
	Минералы Be	Гадолинит	Хризоберилл
	Минералы Cu, Pb, Zn, Mo	Халькопирит, молибденит, галенит, сфалерит	Халькопирит, галенит
Второстепенные минералы	Минералы Fe, Ti	Магнетит, сфен, титаномagnetит, пирит, лейкоксен	Сфен, титаномagnetит, перовскит, анатаз, лейкоксен
	Минералы F, B	Турмалин, фторалатит, флюорит	Флюорит, турмалин, хлоралатит, содалит, канкринит
	Лимонит, шпинель, жильбертит, эпидот, кальцит	Малахит, эпидот, корунд, шпинель, кальцит	

Средние содержания редких элементов в щелочных породах и пегматитах Мегринского плутона\*, вес. %

Элементы	Щелочные сиениты	Калиевые пегматиты	Натриевые пегматиты	Элементы	Щелочные сиениты	Калиевые пегматиты	Натриевые пегматиты
Li	$5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	Nb	$1 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$
Be	$8 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	Y	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$
Rb	$1 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	TR	$9,1 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$	$2,5 \cdot 10^{-1}$
Sc	$1 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	U	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Ga	$6 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	Th	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Zr	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$	B	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$
Hf	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$				

\* По данным химических (Nb, TR, U, Th, B), рентгеноспектральных (Zr, Hf, TR), пламенно-фотометрических (Li, Rb) и полуколичественных спектральных анализов лабораторий ИМГРЭ (Москва).

ственно, необходимой является задача попутного извлечения содержащихся в них редких элементов, связанных с нефелином и полевыми шпатами (Li, Be, Rb, Ga) и аксессуарными минералами (TR, Th, Nb, Ta, Zr). В формации щелочных и нефелиновых сиенитов, кроме магматического типа руд (основная масса нефелиновых сиенитов), определенное значение могут иметь метасоматические и гидротермальные и меньшее значение — пегматитовые месторождения, которые обладают теми же геохимическими особенностями, что материнские щелочные породы. В настоящее время наиболее перспективными являются нефелиновые сиениты — как сырье на глинозем.

Таблица 81

Характеристика нефелиносиенитовой формации по содержанию комплекса редких элементов

Щелочные комплексы	Характерные элементы (выше кларка в 2 и более раз)	Второстепенные элементы (в пределах кларка)	Не характерные элементы (ниже кларка)
Тежсарский	Zr, Hf, Ga, Th, $\Sigma$ Ce, Nb	Be, Li, Ti, Rb, Y, U, B	Cs, Ti, Sc, Sr, Ba, Ta
Мегринский	Zr, Hf, Be, Nb, Th, TR	Ga, U, Li, Ti, Ba, B, F	Rb, Cs, Sr, Ta, Ti, Sc

Содержания редких элементов и их минералы-носители в формации нефелиновых и щелочных сиенитов (алюминиевое сырье)

Элементы	Тежсарский комплекс		Мегринский комплекс	
	Среднее содержание в породе, г/т	Главные минералы-носители элемента, %	Среднее содержание в породе, г/т	Главные минералы-носители элемента, %
Цирконий	250	Циркон — 45%, меланит — 0,25%, циртолит — 48%, бадделит — 74%, велерит — 15%	250	Циркон — 41,5%, бадделит — 73,9%
Гафний	3	Циркон — 0,45%, меланит — 0,005%, циртолит — 0,67%, бадделит — 0,5%, велерит — 0,1%	4	Циркон — 0,49%, циртолит — 0,80%, бадделит — 1,0%
Ниобий	15	Сфен — 0,4%, велерит — 15,0%, меланит — 0,1%, лэпарит — 10%, пирохлор — 40%	100	Сфен — 0,3%, ильменит — 0,2%, бетафит — 35%, анатаз — 0,3—1%
Галлий	20	Нефелин — 0,003%, полевые шпаты — 0,001%	60	Нефелин — 0,01%, полевые шпаты — 0,003%
Редкие земли	600	Сфен — 3,12%, меланит — 0,43%, апатит — 1,21%, циркон — 0,6%, флюорит-монацит — 63%	910	Сфен — 1,65%, циркон — 0,3%, апатит — 2,40%, ортит — 21%, флюорит — 0,1%, монацит — 62,3%
Иттрий	20	Сфен — 0,4%, апатит — 0,3%, циркон — 0,3%, меланит — 0,1%	30	Сфен — 2,5%, монацит — 2,5%, флюорит — 1,0%, циркон — 1,0%

Как видно из табл. 81, наиболее ценными компонентами тежсарских высокоглиноземистых пород являются: цирконий, гафний, галлий, торий, ниобий и редкие земли цериевой подгруппы, отчасти В, Тl, Rb,  $\Sigma Y$ , а в мегринских — цирконий, гафний, бериллий, иттрий, торий, ниобий, редкие земли цериевой и иттриевой подгрупп, отчасти Ва, Ga, Li, В, U.

В табл. 82 приводятся средние содержания редких элементов в граммах на тонну нефелинситеновой массы, а также содержания редких элементов в минералах-носителях, т. е. минералах, где сконцентрирована главная масса (50—90%) атомов редкого элемента. Наибольший интерес представляют сфен, циркон, нефелин, отчасти апатит, флюорит, меланит и редкие—бадделейт, пироклор, бетафит, торит, монацит, ортит и др.

Некоторые различия в геохимических особенностях щелочных комплексов Армении связаны с различием их генезиса. Как показали комплексные петрогеохимические исследования, Мегринский щелочной комплекс относится к гранитоидной ветви, а Тежсарский — к базальтоидной. Особенно отчетливо это проявляется в повышенном по сравнению с Тежсаром содержании иттрия, урана, редких земель иттриевой подгруппы, тантала, бериллия и других элементов в Мегринском комплексе. Эти же особенности четче проявляются в составе пегматитовых и гидротермальных месторождений.

### III. МИНЕРАЛЫ РЕДКИХ И БЛАГОРОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В результате детальных минералогических исследований с применением новейших методов диагностики за последние годы авторами работы в различных формациях руд Армении, включая пегматиты, установлено более 70 минералов редких и благородных элементов, описание большинства которых приводится ниже. В связи с характером распределения (способность к минералообразованию, размеры выделения и др.) минералы изучены и описаны с неодинаковой детальностью.

Минералы редких и благородных элементов сгруппированы в два раздела согласно их приуроченности к определенным типам месторождений: 1) минералы рудных месторождений и 2) минералы щелочных и нефелиновых сиенитов. Порядок описания в каждом из разделов приводится по классификации Дж. Д. Дэна и др. (1950).

#### A. МИНЕРАЛЫ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

##### 1. Самородные элементы

Золото — Au. Содержание золота в самородном минерале колеблется от 50 до 99,9%. Наиболее обычные примеси Ag, Cu, Fe, Te, Se, реже Bi, Hg, Pt, Ir, Os, Pd.

Самородное золото установлено во всех типах сульфидных руд Армянской ССР: в золото-сульфидных (Зод, Личкваз, Гегарчин и др.), золото-теллурических (Зод, Меградзор, Анкаван и др.), золото-шеслитовых (Амзачиман), серноколчеданных (Тандзут, Чибухли), медноколчеданных (Кафан, Алаверди и др.), полиметаллических (Шаумян—Халадж, Ахтала и др.), сурьмяно-полиметаллических (Азатек), медно-молибденовых (Каджаран, Агарак, Дастакерт, Анкаван и др.) и в россыпях.

Золото ассоциирует с пиритом, халькопиритом, галени-  
том, сфалеритом, блеклыми рудами, энаргитом, теллуридами  
серебра, золота, свинца, висмута, никеля, ртути и меди,  
сульфосолями свинца и сурьмы, висмута, меди, мышьяка и  
серебра, а также с кварцем, кальцитом, родохрозитом, анке-  
ритом, сидеритом, баритом и другими минералами (рис. 1, 2,  
3, 4, 5).



Рис. 1. Формы самородного золота. Анкаванское месторождение.  $\times 20$ .  
По А. И. Карапетяну.

Наиболее широким распространением золото пользуется  
в золото-сульфидных (пирит-арсенопиритовых), золото-теллу-  
ровых, полиметаллических и отчасти сурьмяно-полиметалли-  
ческих и золото-шеелитовых рудах, где золото из растворов  
выделялось после всех минералов.

Самородное золото представлено в пластинчатых, ске-  
летообразных, изометрических, удлинённых и других формах.  
Размер золотинок колеблется в широких пределах—до 0,3 см  
для изометрических, 0,5 см в длину для удлинённых и 1—  
1,5 см<sup>2</sup> для листоватых, пластинчатых. На некоторых место-  
рождениях (Зод, Амзачиман, Меградзор и др.) преобладает  
тонкодисперсное золото.

Золото развивается по трещинкам, контактам зерен и аг-  
регатам жильных и рудных минералов, нередко образуя про-  
жилки длиной 1,5—5 см.

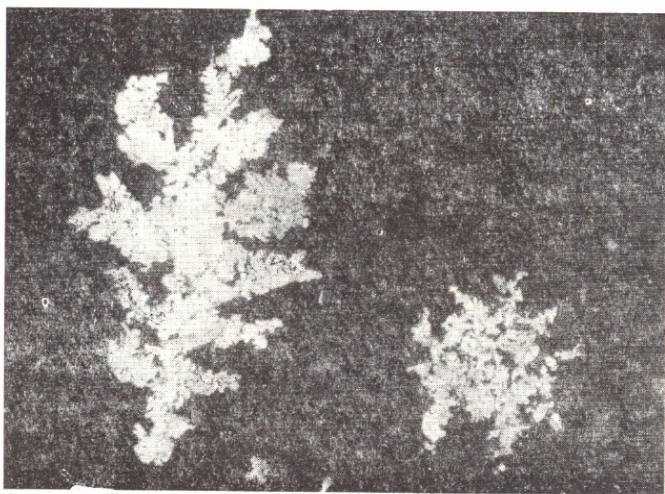


Рис. 2. Дендриты золота. Зодское месторождение.  $\times 10$ . По Ш. О. Амиряну.

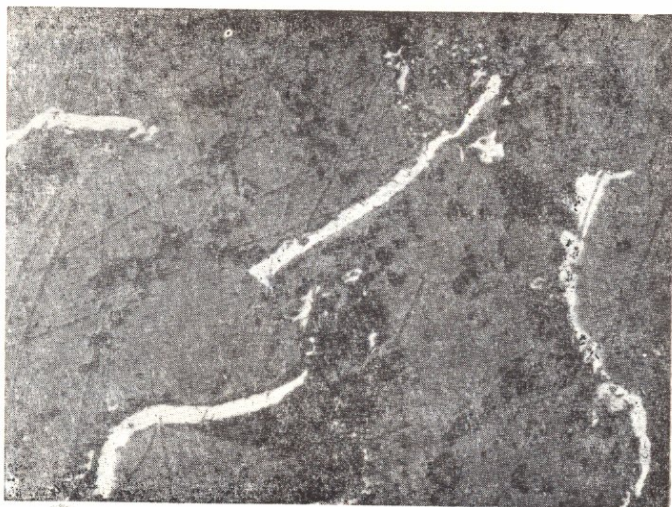


Рис. 3. Пластинчатые выделения золота (белое) в карбонате. Зодское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 100$ . По Ш. О. Амиряну.

В отраженном свете золото имеет золотисто-желтый цвет (меняется в зависимости от содержания серебра, меди, висму-



Рис. 4. Золото (Au) в ассоциации с лимонитом (Lim). Зодское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 160$ . По Ш. О. Амиряну.



Рис. 5. Золото (Au) выполняет промежутки кристаллов кварца (серое). Зодское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 100$ . По Ш. О. Амиряну.

Химический состав золота из золоторудных месторождений

Месторождения	Ассоциации минералов	Содержание элементов, %													Аналитик и автор	
		Au	Ag	Fe	Cu	Sb	As	Ni	Bi	Te	Se	Zn	Pb	Не- раств. остат.		
З о д	Золото-теллуровая ассоциация	84,14	14,85	0,024	0,01	0,005	0,004	—	0,007	0,01	0,002	—	—	0,520	99,572	Ф. А. Ферьянчич
	Золото-сульфидная ассоциация	93,03	6,13	0,26	0,005	0,005	0,009	—	0,005	0,03	0,003	—	—	0,58	100,57	(Ш. О. Амирян, 1961)
	Вторичное золото	95,30	5,00	0,051	0,005	0,005	0,001	—	0,005	0,02	—	—	—	0,26	100,677	
	Золото-теллуровая и золото-сульфидная ассоциация	93,22	5,07	0,18	0,43	—	0,01	0,01	—	0,025	0,004	—	0,15	1,13	100,229	Ф. А. Ферьянчич (Н. Н. Тагунова)
А з а т е к	Золото-сульфидная ассоциация	92,70	6,95	0,30	0,003	0,007	0,01	—	0,002	—	—	0,008	0,005	0,30	100,312	Ф. А. Ферьянчич (Ш. О. Амирян и А. Г. Акопян, 1964).
	Золото-сульфоантимонитовая ассоциация	83,04	15,58	0,03	0,14	0,015	0,06	—	0,007	—	—	—	0,001	1,13	99,003	
Меградзор	Золото-теллуровая и золото-сульфидная ассоциация	91,31	6,79	0,13	0,003	0,06	0,006	—	—	0,03	0,039	—	—	2,30	100,668	Ф. А. Ферьянчич (Ш. О. Амирян)

та). Отражательная способность очень высокая. Изотропный, однако при скрещенных николях никогда не становится полностью темным и имеет своеобразный зеленый цвет. Микротвердость по трем измерениям составляет 69,1 кг/мм<sup>2</sup> (Зод), 65,8 и 73,4 кг/мм<sup>2</sup> (Азатек). Травится KCN. Структура выявляется травлением  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$  (1:1).

В табл. 83 приводятся результаты химических анализов золота.

Часть из установленных в золоте элементов представлена в виде механической примеси. Как видно из результатов химических анализов (табл. 83), золото из указанных месторождений высокопробное (830—953).

На Зодском месторождении самая высокая проба у вторичного золота. На Азатекском месторождении золото из полиметаллической ассоциации более высокопробное, чем из сульфосолевой. Высокопробностью характеризуется также золото Меградзорского месторождения.

Серебро — Ag. Обычно содержит примеси Au, Hg, Bi, Sb, Cu, As и др. Самородное серебро установлено в рудах Шамлугского (И. Г. Магакьян, 1947), Зодского (Ш. О. Амирян, 1961), Гюмушханского (Н. С. Хачатрян, Б. Д. Акопян), Газминского (А. Г. Акопян), Ахтальского, Каялинского (В. О. Пароникян, 1962), Аткизского (Р. Н. Зарьян, 1963), Дастакертского (А. И. Карапетян, 1964), Меградзорского (Ш. О. Амирян; А. И. Карапетян, 1964), Агаракского, Анкаванского, Каджаранского, Джиндаринского (Г. О. Пиджян) месторождений. Серебро было встречено в самых различных парагенетических ассоциациях и минералах—халькопирите, сфалерите, галените, борните, сульфоантимонитах, сульфовисмутитах и сульфоарсенитах свинца и меди, а также в различных теллуридах.

В рудах вышеуказанных месторождений самородное серебро представлено обычно в виде мельчайших выделений размером в тысячные и сотые доли миллиметра, округлых, оваловидных, дендритовидных, реже пластинчатых форм. Крупные выделения самородного серебра в борнитовых рудах Ахтальского месторождения тесно ассоциируют со штроейеритом, электрумом, стефанитом, акантитом, борнитом, теннантитом и др. (рис. 6).

Серебро полируется плохо, всегда содержит тонкие царапины. Микротвердость по трем измерениям на образцах из Ахтальского месторождения составляет в среднем 46 кг/мм<sup>2</sup>. Несмотря на низкую твердость, относительный рельеф минерала выше, чем у галенита, однако значительно ниже сфалерита и блеклой руды.

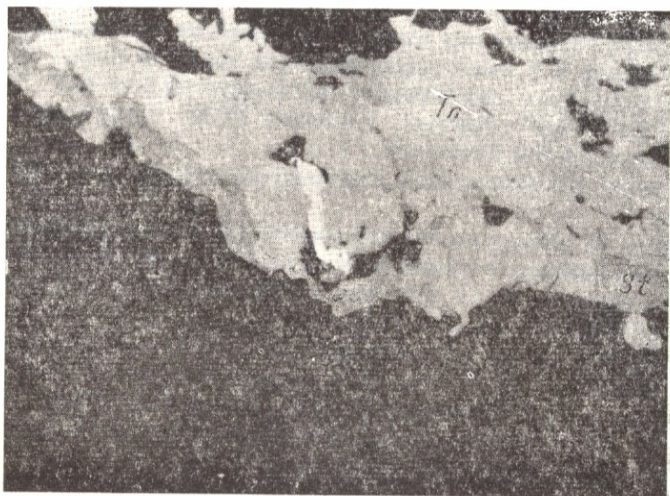


Рис. 6. Выделение самородного серебра (белое) в блеклой руде (Tn), замещающей по краям штромейритом (St). Месторождение Ахтала.  $\times 200$ . По В. О. Пароникиану.

Цветные оттенки минерала в зависимости от содержания примесей (особенно золота) меняются от светло-белого до кремово-белого и желтовато-кремово-белого. Отражательная способность по визуальной оценке немного выше, чем у золота.

От золота и электрума минерал отличается травлением  $\text{HNO}_3$  (поверхность серебра становится шероховатой и покрывается бурым налетом). Положительно действуют также  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{HgCl}_2$ .

Электрум установлен в борнитовых рудах Шамлугского (И. Г. Магакьян, 1947) и Ахтальского (В. О. Пароникиан, 1962) месторождений. В отличие от самородного серебра цвет его более густо желтовато-кремовый. Отражательная способность по трем измерениям для оранжевых лучей в среднем составляет 81%. Несколько заниженное значение  $R$  обусловлено, по-видимому, наличием в полях этого минерала многочисленных царапин.

Местами отмечается постепенный переход электрума к серебру, особенно на пограничных участках зерен, выражающийся в изменении физических и оптических свойств: цвет меняется от светло-желтого к кремово-белому, возрастает отражательная способность и уменьшается микротвердость. При

воздействии на такие агрегаты конц.  $\text{HNO}_3$  электрум остается неизменным, а поверхность серебра покрывается бурым налетом.

Микротвердость электрума значительно выше, чем у самородного серебра, и варьирует в пределах 57—72 кг/мм<sup>2</sup> (в среднем составляет 62 кг/мм<sup>2</sup>), что хорошо согласуется с данными С. И. Лебедевой (1963).

В и с м у т — В i. Имеющиеся в литературе химические анализы показывают в самородном висмуте содержание В i от 95,90 до 99,95. В виде примесей содержит небольшие количества Fe, S, As, Sb, Pb, Te.

Самородный висмут является редким минералом и встречается только в рудах медно-молибденовой и золоторудной формаций Армении. Он установлен в рудах следующих месторождений: Айгедзорского и Агаракского (Г. О. Пиджян), Каджаранского (А. С. Фарамазян, 1958) и Зодского (Ш. О. Амирян, 1961).

На Айгедзорском и Агаракском месторождениях встречается в виде отдельных каплевидных и реже удлинённых выделений в полях халькопирита и кварца с размерами 0,003—0,01 мм в тесной ассоциации с висмутином, виттихенитом и эмплектитом. На Каджаранском месторождении отмечен только в нескольких шлифах одного образца в виде редких изолированных выделений величиной 0,01—0,05 мм, в ассоциации с галенитом, блеклой рудой, теллуридами, совместно с которыми тонкими прерывистыми прожилками пересекает поля сфалерита. На Зодском месторождении встречается в виде зернистых агрегатов размером 0,015—0,05 мм в ассоциации с арсенопиритом, сфалеритом и галенитом, а иногда развивается по контактам рудных минералов или по спайности карбоната.

В отраженном свете висмут белый с слабым розовато-кремовым оттенком, что хорошо заметно в сростках с арсенопиритом и галенитом (Ш. О. Амирян). Характеризуется высокой отражательной способностью и сильным блеском (для желтых лучей 68—69%), заметной анизотропностью в иммерсии, а иногда и в воздухе. Двуотражение с трудом устанавливается только в иммерсии. Обычно поверхность минерала сильно иштрихована, что затрудняет определение кристаллооптических свойств. По наблюдениям А. С. Фарамазяна, самородный висмут в скрещенных николях среди остальных минералов остается наиболее освещенным, что, по-видимому, вызвано частичной эллиптической поляризацией отраженного света. Твердость висмута низкая, рельеф ниже халькопирита и галенита, полируется плохо и внутренних рефлексов не имеет. При действии  $\text{HNO}_3$  мгновенно чернеет. Наличие висмута

и отсутствие теллура подтверждено микрохимической реакцией и микроспектральным анализом.

В медно-молибденовых месторождениях самородный висмут выделялся позже всех сульфидов, но до теллурических минералов (Г. О. Пиджян, А. С. Фарамазян).

Теллур,  $Te$ . Иногда содержит незначительные примеси  $Au$ ,  $Ag$ ,  $Fe$ ,  $Se$ . Часть примесей входит в состав механических включений. Самородный теллур был обнаружен в рудах Каджаранского медно-молибденового (А. С. Фарамазян, 1958), Зодского золоторудного (Ш. О. Амирян, 1961) и Кафанского медно-колчеданного (А. И. Карапетян, 1962) месторождений. На Зодском месторождении теллур ассоциирует с теллуrowисмутитом, алтаитом (рис. 7), гесситом, галенитом,

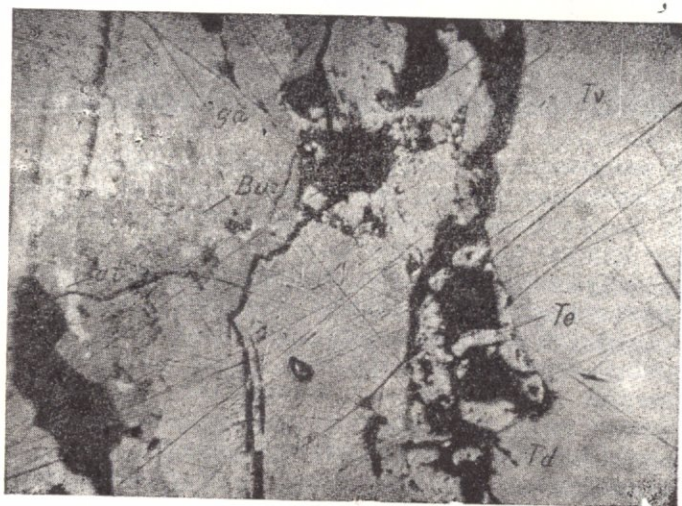


Рис. 7. Выделение самородного теллура ( $Te$ ) в сростаниях с теллуrowисмутитом ( $Tv$ ), тетрадимитом ( $Td$ ), алтаитом ( $at$ ), галенитом ( $ga$ ), бурнонитом ( $Bis$ ) и др. Черное—кварц. Зодское месторождение. Полинр. шлиф.  $\times 100$ . По Ш. О. Амиряну.

тетраэдритом, теннантитом, золотом, нагнагитом, пильзенином и бурнонитом; на Каджаранском—с гесситом, алтаитом, халькопиритом, блеклыми рудами, галенитом, а на Кафанском—с алтаитом, петцитом, гесситом и золотом.

В отраженном свете—кремово-белый с желтым оттенком. Отражательная способность в светлом положении почти равна отражательной способности алтаита, в темном положении—заметно ниже, двуотражающий, что хорошо наблюдается на

агрегатах с различно ориентированными зернами. Сильноанизотропный (в светлых, светло-коричневых, серых тонах); рельеф выше, чем у теллуrowисмутита, алтаита, гессита, тетрадимита. Спайность иногда наблюдается только в одном направлении. Образует мелкозернистые агрегаты, сложенные из тонких удлиненных индивидов.

От  $\text{HNO}_3$  чернеет, от  $\text{FeCl}_3$ —становится светло-бурым, желтоватым, от царской водки—желто-коричневый налет.

Микрохимия на Те положительна. Микроспектрально в минерале определен теллур.

## 2. Теллуриды, сульфиды

Теллуrowисмутит— $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . Теоретический состав: Bi—52,09, Te—47,91%. Часто содержит примеси Au, Se, Sb, Pb, Cu. Установлен в рудах золоторудных месторождений—Зод (И. Г. Магакьян, 1957), Меградзор (А. И. Карапетян, Ш. О. Амирян, 1963), Амзачиман (Ш. О. Амирян, 1966), медно-молибденовых—Каджаран (А. С. Фарамазян, 1960), Калер (Б. М. Меликсетян и др. 1960), Анкаван (А. И. Карапетян, 1961), Агарак, Дастакерт (Г. О. Пиджян, 1966), медных—Кафан (Р. Н. Зарьян, 1962), полиметаллических—Газма, Азатек (В. О. Пароникян, 1962). Теллуrowисмутит ассоциирует с арсенопиритом, пирротинном, галенитом, сфалеритом, халькопиритом, блеклой рудой, висмутином, виттихенитом, эмплектитом, тетрадимитом, золотом, теллуридами золота, серебра, никеля, ртути и теллуrom (рис. 8, 9).

Макроскопически оловянно-белый, с сильным блеском. Представлен таблитчато-зернистыми и листоватыми агрегатами. В отраженном свете цвет минерала кремово-белый с розоватым оттенком, что хорошо видно в совместных сростках с алтантом. Отражательная способность для зеленых лучей 53%, для желтых—55—56%, красных—58—60%. Слабо двуотражает (в розово-белых, кремово-белых тонах). Заметно анизотропный (в серовато-голубых и желтовато-серых тонах). Твердость низкая. Рельеф выше тетрадимита, алтаита, гессита, но ниже, чем у теллура, галенита. Спайность весьма совершенная. Микротвердость:  $H_{\text{ср. I}} = 46,3$  кг/мм<sup>2</sup>,  $H_{\text{ср. II}} = 60,2$  кг/мм<sup>2</sup> для Зодского, 58 кг/мм<sup>2</sup> для Анкаванского, 55—75 кг/мм<sup>2</sup> для Кафанского и 60—65 кг/мм<sup>2</sup> для Агаракского месторождений. Травится от  $\text{HNO}_3$  (тускнеет, чернеет),  $\text{FeCl}_3$  (иризирует),  $\text{HCl}$  (становится серым, коричневым).

В табл. 84 приведены результаты химических анализов теллуrowисмутитов.



Рис. 8. Пластинчатые выделения теллуrowисмутита (Tv) в кварце. Серое—монтанит (Mon). Зодское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 100$ . По Ш. О. Амиряну.

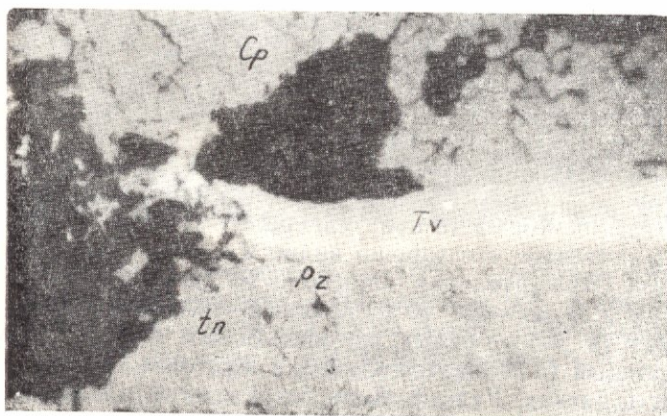


Рис. 9. Пластика теллуrowисмутита (Tv) и петцита (Pz) в полях халькопирита (Cp), серое—теннантит (tn). Анкаванское медно-молибденовое месторождение. Полир. шлиф.  $\times 360$ . По А. И. Карапетяну.

Спектральным анализом в теллуrowисмутите из Калерского месторождения обнаружены:  $\text{Bi}, \text{Te} \gg 10\%$ ,  $\text{Ag} > 0,3\%$ ,

Таблица 84

## Химический состав теллуовисмутитов

Месторож- дение	С о д е р ж а н и е э л е м е н т о в, %										Аналитик, автор
	Bi	Te	S	Au	Ag	Sb	Pb	Cu	н/ост.	Сумма	
Зод 1	46,90	47,50	0,45	—	—	2,70	—	—	1,55	99,43	М. М. Стукалова и А. К. Ивашян (И. Г. Магакьян, 1957)
2	49,87	47,62	0,70	0,03	0,03	0,03	0,5	0,003	1,054	99,837	Н. Капалцян (Ш. О. Амирян)
Калер	51,27	46,40	0,54	—	—	—	—	—	0,88	99,67	Л. Е. Новороссова (Б. М. Мелик- сетян и др., 1960)

Pb, Sb, Fe, As, Si — 0,03—0,1%, Mo, Cu, Zn, Au, Mg, Ca—0,001—0,03%; в теллуrowисмутите из Зодского месторождения установлены: Bi, Te  $\gg$  10%, Si, Sb, Pb  $\sim$  1%, Ca, Au, Fe—0,1—0,3, Al, Mg, Ag, As, Zn — 0,01—0,03, Mn, Ti, Cr, Cu—0,001—0,003%.

Рентгенометрическое изучение теллуrowисмутитов (табл. 85) из Зодского (И. Г. Магакян, 1957), Меградзорского, Амзачиманского (Ш. О. Амирян, 1966), Калерского (Б. М. Меликсетян и др., 1960), Кафанского и Каджаранского (Р. Н. Зарьян, 1963) месторождений показало полную идентичность с эталоном (В. И. Михеев, 1957).

Тетрадимит— $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$ . Теоретический состав: Bi—59,87, S—4,55, Te—36,18%. Иногда содержит до 2% Se. В виде примесей содержит также Cu, Au, S, Ag, As.

Установлен в рудах Кафанского медного (Ф. А. Шутлив, 1940), Зодского (Т. А. Твалчрелидзе, 1959), Амзачиманского и Личквасского (Ш. О. Амирян, 1966<sup>1, 2</sup>) золоторудных месторождений в сростаниях с теллуrowисмутитом, гесситом, висмутином, козалитом, золотом и другими теллуридами; Каджаранского (А. С. Фарамазян), Анкаванского (А. И. Карапетян, 1961), Агаракского и Дастакертского (Г. О. Пиджян) медно-молибденовых месторождений (рис. 10, 11) в ассоциа-

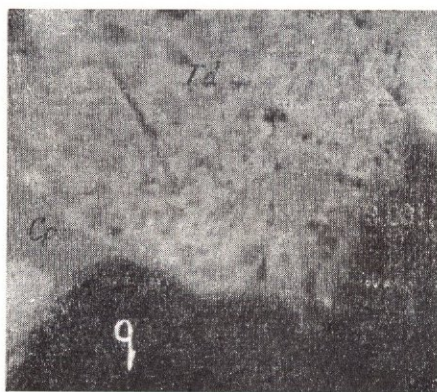


Рис. 10. Разъединение халькопирита (Cp) тетрадимитом (Td). Черное—кварц (q). Каджаранское месторождение. Полир. шлиф.  $\times$  270. По А. С. Фарамазяну.

ции с теллуrowисмутитом, гесситом, петцитом, сфалеритом и др.; Сарнахпюрского (Н. С. Хачатрян, Б. Д. Акопян) и Намазелянского (Ш. О. Амирян, 1966) проявлений висмута, теллура и золота в ассоциации с пиритом, халькопиритом, галени-

## Межплоскостные расстояния теллурувисмутитов из различных месторождений и проявлений Арм. ССР

1			2		3				4			5			6		
I	$d\alpha/n$	$d\beta/n$	I	$d\alpha/n$	I	$d\alpha/n$	$d\beta/n$	$d\gamma/n$	I	$d\alpha/n$	$d\beta/n$	I	$d\alpha/n$	$d\beta/n$	I	$d\alpha/n$	
2-1	4,816	4,355	3	5,070	4	5,110		5	0,994	3	4,86	4,89	10	3,15	2,85	2	5,03
2	(3,544)	3,212	1	3,740	4	3,570	3,210	2	0,962	3	(3,46)	3,12	19	2,35	2,12	1	3,75
9	3,219	(2,917)	3	3,510	10	3,210		2	0,952	10	3,17	(2,86)	6	2,16	1,95	8	3,18
2	(2,609)	2,365	10	3,200	8	2,620	2,370	2	0,97	2	(2,41)	2,17	6	2,011	1,815	1	2,66
10	2,374	(2,152)	1	2,650	10	2,370		9	0,920	9	2,34	2,11	5	1,787	1,613	7	2,36
4	(2,248)	2,037	2	2,580	5	2,240	2,020	3	0,906	8	2,18	1,96	5	1,692	1,527	1	2,21
4	2,184	1,979	8	2,380	5	2,190		2	0,872	6	(2,00)	1,80	5	1,590	1,435	4	2,05
7	2,028	(1,833)	4	2,190	9	2,030		2	0,863	7	1,89	1,625	8	1,481	1,337	3	1,808
3-4	1,806	1,637	5	2,040	1	1,833	1,170	6	0,848	2	1,686	1,522	3	1,407	1,270	1	1,695
4	1,711	1,551	3	1,810	3	1,809		2	0,836	6	1,600	1,442	3	1,385	1,260	3	1,606
2	(1,642)	1,488	2	1,699	4	1,696		5	0,826	7	1,477	1,333	2	1,336	1,206	4	1,485
5	1,609	1,458	2	1,611	2	1,643	1,483	5	0,813	6	1,394	1,258	4	1,292	1,166	2	1,408
1	(1,556)	1,411	3	1,570	4	1,608		4	0,803	4	1,292	1,166	2	1,254	1,132	1	1,337
10	1,489	(1,350)	7	1,488	1	1,504	1,412	4	0,796	1	1,261	1,138	2	1,181	1,066	2	1,294
1	1,450	1,314	1	1,453	9	1,485		4	0,792	1	1,204	1,087	2	1,163	1,050	1	1,249
6	1,415	(1,282)	3	1,392	2	1,451		2		2	(1,181)	1,066	2	1,088	0,982	1	1,206
4	1,406	1,274	1	1,340	8	1,412		2		2	(1,153)	1,041	2	1,081	0,975	1	1,184
4	1,339	1,213	4	1,322	4	1,293		4		4	1,071	(0,967)	1	1,043	0,941	2	1,161
3-4	1,298	1,176	4	1,295	3	1,340		5		5	1,040	(0,939)	1	0,990	0,893	1	1,122
2	1,248	1,132	3	1,267	4	1,294		5		5	0,993	0,896				1	1,070
3	1,212	1,099	3	1,208	1	1,262		1		1	(0,963)	0,869				2	1,046
3	1,188	1,022	3	1,160	1	1,249		3		3	(0,921)	0,831				1	1,039
3	1,162	1,053	1	1,120	4	1,210		3		3	0,907	0,818				1	1,015
2	1,118	1,013	1	1,106	4	1,185		3		3	0,863	(0,778)				1	0,994
1-2	1,094	0,998	1	1,086	5	1,158		3		3	0,849	0,766				1	0,962
3-4	1,071	0,971	4	1,069	3	1,118		3		3	0,836	0,755				1	0,949
3-4	1,044	0,947	6	1,044	3	1,070										1	0,926
2	1,025	0,929	2	1,036	6	1,043											
2	1,015	0,920	1	0,997	2	1,025											
			2	0,965	1	1,012											

1. Зодское месторождение. Рентгенограмма выполнена в лаборатории ИМГРЭ Ю. А. Пятенко. Условия съемки:  $Fe_{\alpha\beta}$  — излучение; камера РКД-57,3;  $2\theta$  — 0,4 мм;  $h$  — 5 ч.

2. Кафанское месторождение. Рентгенограмма выполнена в лаборатории ВИМСа Г. А. Сидоренко. Условия съемки:  $Fe_{\alpha}$  — излучение; камера РКД-57,3;  $2\theta$  — 0,4 мм;  $h$  — 5 ч.

3. Калерское месторождение. Рентгенограмма выполнена в лаборатории ИГН АН Арм. ССР Э. Х. Хуршудян. Условия съемки:  $Si_{\alpha\beta}$  — излучение; камера РКД-57,3;  $2\theta$  — 0,4 мм;  $h$  — 6 ч. ( $a_0$  —  $4,368 \pm 0,0005 \text{ \AA}$ ,  $c_0$  —  $30,49 \text{ \AA}$ ,  $a_{rh}$  —  $10,44$ ,  $\alpha$  —  $24^\circ 5'$ ).

4. Меградзорское месторождение. Рентгенограмма выполнена в лаборатории ИГН АН Арм. ССР Э. Х. Хуршудян. Условия съемки:  $Si_{\alpha\beta}$  — излучение; камера РКД-57,3; резиновый шарик;  $h$  — 5 ч.

5. Амзачиманское месторождение. Рентгенограмма выполнена в лаборатории ИГН АН Арм. ССР Э. Х. Хуршудян. Условия съемки:  $Si_{\alpha\beta}$  — излучение; камера РКД-57,3; резиновый шарик;  $h$  — 5 ч.

6. Каджаранское месторождение. Рентгенограмма выполнена в лаборатории ВИМСа Г. А. Сидоренко. Условия съемки:  $Fe_{\alpha}$  — излучение; камера РКД-57,3; резиновый шарик;  $h$  — 5 ч.



Рис. 11. Теллуровисмутит (tv) и тетрадимит (Td) в сростании с гесситом (Hes) и аргентитом (Arg). Анкаванское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 500$  (иммерсия). По А. И. Карапетяну.

том, теннантитом, висмутином, теллуровисмутитом, аргентитом и Азатекского сурьмяно-полиметаллического месторождения (Ш. О. Амирян, А. Г. Акопян, 1963) в ассоциации с халькопиритом, галенитом, галеновисмутитом, висмутином, теллуровисмутитом, алтаитом и другими сульфосолями висмута и серебра.

Сочетание минералов и последовательность их выделения показывает, что тетрадимит образовался при более высоком парциальном давлении серы. Обычно он ассоциирует с сульфидами— пиритом, галенитом, халькопиритом, сфалеритом и др.

Макроскопически—стально-серый. Блеск — металлический. Образует листоватые и зернистые агрегаты.

В отраженном свете белый со слабым кремовым оттенком, в сростках с теллуровисмутитом имеет серо-зеленоватый оттенок. Отражательная способность для желтых лучей  $\sim 52\%$ . Двухотражение в воздухе заметно. Слабо анизотропен (в светлых, темно-серых тонах). Твердость низкая. Рельеф ниже теллуровисмутита, золота, креннерита, нагиагита, но больше, чем у гессита, пеццита и приближается к рельефу алтаита. Наблюдается спайность. Микротвердость для Зодского тетрадимита составляет  $H_{ср. I} = 54,8$  кг/мм<sup>2</sup>,  $H_{ср. II} = 40,4$  кг/мм<sup>2</sup> (Ш. О. Амирян, 1961), Анкаванского—40 кг/мм<sup>2</sup> (А. И. Карапетян, 1961), Кафанского—23 кг/мм<sup>2</sup> (А. И. Карапетян, 1962) и Дастакертского—32—36 кг/мм<sup>2</sup> (Г. О. Пиджян, 1966). Травится от  $HNO_3$  и  $HCl$ .

Химическими анализами в тетрадимите определен ряд элементов (табл. 86).

Спектральным анализом в тетрадимите (Зод, Намазелян) установлены следующие примеси: Au, Ag—0,3, Mn, Zn, Cu—0,1—0,3, Sb—0,3—1,0, Pb, As—1,0, Ba—0,01, Hg—0,001, нередко Sn—0,001% (Н. Н. Тагунова, Ш. О. Амирян). Большинство примесей связано с механическими включениями, так как в полях тетрадимита наблюдаются многочисленные микровключения арсенопирита, буланжерита, блеклой руды и других ассоциирующих с ним минералов.

Рентгенометрически (табл. 87) подтверждены (В. И. Михеев, 1957) тетрадимиты из Зодского, Амзачиманского (Ш. О. Амирян), Анкаванского (А. И. Карапетян) и Каджаранского (Р. Н. Зарьян) месторождений, а также Сарнахпюрского (Н. С. Хачатрян, Б. Д. Акопян) и Намазелянского (Ш. О. Амирян) проявлений.

Пильзенит (верлит)  $Vi_3Te_2$  (?). Редко встречающийся минерал. Установлен только в золото-теллурических рудах Зодского месторождения (Ш. О. Амирян, 1961) в тесных сростаниях с теллурическим висмутитом, алтаитом, гесситом, нагиагитом, золотом и петцитом и выделениях, замещающих арсенопирит, галенит, пирит, герсдорфит, бравоит и ваэсит (рис. 12).



Рис. 12. Сростания теллурического висмутита (Tv), пильзенита (Pl), галенита (ga) и нагиагита (ng). Зодское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 100$ . По Ш. О. Амиряну.

## Химический состав тетрадимитов

Месторождения и проявления	Содержание элементов, %								Сумма	Автор
	Bi	Te	S	Fe	Pb	Sb	Se	Нераств. ост.		
Анкаван	59,81	35,1	4,2	—	—	—	0,44	—	99,55	А. И. Карапетян. 1961
Зод	57,30	38,00	4,0	0,92	0,05	0,01	—	—	100,28	Н. Н. Тагунова
Сарнахпюр	59,70	32,93	5,0	—	—	—	0,62	1,20	99,61	Н. С. Хачатрян, Б. Д. Акопян
Намазелян	58,80	35,64	4,46	0,8	—	0,03	—	—	99,73	Ш. О. Амирян

В отраженном свете цвет минерала белый (кремово-белый) с бледно-розовым оттенком. В масле усиливается различие в цветах, минерал становится более розоватым, фиолетовым. Отражательная способность для желтых лучей  $\sim 47\%$ . Двуотражение слабое, заметно в масле. Слабо анизотропный (в серых, голубых, коричневых тонах). Твердость низкая. Рельеф выше, чем у алтаита, теллуровисмутита и гессита. Заметна совершенная спайность. Микротвердость:  $H_{\text{ср.1}} = 65,4$  кг/мм<sup>2</sup>,  $H_{\text{ср.1}'} = 73,2$  кг/мм<sup>2</sup>.

От  $\text{HNO}_3$  иризирует, чернеет. Микроспектральным анализом в нем определены Bi, Te, Ag (много), Sb, Au, Pb (следы).

Минерал подтвержден рентгенографическим анализом (Т. А. Твалчрелидзе).

Вольнскит —  $\text{AgBiTe}_2$  (?). Новый теллурид висмута и серебра обнаружен М. С. Безсмертной и Л. Н. Соболевой в рудах Зодского золоторудного месторождения, в ассоциации теллуровисмутита, алтаита, гессита, нагнагита, золота и других теллуридов. Особенно тесные сростки он образует с теллуровисмутитом, алтантом и гесситом.

Под микроскопом в полированных шлифах по отражательной способности и цвету при наблюдении с сухим объективом, по М. С. Безсмертной и Л. Н. Соболевой, он несколько похож на теллуровисмутит. При наблюдении с масляной иммерсией теллурид висмута и серебра по общей освещенности занимает промежуточное положение между теллуровисмутитом и галенитом. Цвет минерала бледно-пурпурный с фиолетовым оттенком. Отражательная способность в масле для различных частей спектра колеблется в пределах от 40,7 до 45,4 при этом высокие значения характерны для красной части спектра.

При скрещенных николях минерал слабо анизотропен. Двуотражение слабое. Полируется хорошо и по отношению теллуровисмутита, алтаита и гессита обладает несколько повышенным рельефом. Спайность совершенная в одном направлении и несовершенная в двух других направлениях. Наблюдаются редкие треугольники выкрошивания.

Микроспектральными анализами в минерале обнаружены: Bi, Ag, Te, Sb, Pb.

Для минерала получена (М. С. Безсмертная и Л. Н. Соболева, 1963) рентгенограмма (табл. 88).

Нагнагит —  $\text{Pb}_5\text{Au}(\text{Te}, \text{Sb})_4\text{S}_{5-8}$ . Формула точно не установлена; часто содержит включения других минералов, чем, видимо, обусловлены различия химических анали-

## Межплоскостные расстояния тетрадимитов из руд различных месторождений и проявлений Армянской ССР

1		2		3			4			5		6	
I	d $\alpha$ /n	I	d $\alpha$ /n	I	d $\alpha$ /n	d $\beta$ /n	I	d $\alpha$ /n	d $\beta$ /n	I	d $\alpha$ /n	I	d $\alpha$ /n
1	4,660	2	4,92	10	3,12	2,82	1	4,87	4,42	5	5,02	4	4,90
10	3,204	4	3,584	9	2,30	2,08	1	(3,40)	3,09	4	3,69	3	3,61
2	3,095	10	3,204	5	2,17	1,97	9	3,07	(2,78)	2	3,60	1	3,26
3	2,809	6	2,809	5	(2,12)	1,92	1	2,74	2,48	1	3,27	10	3,10
8	2,559	3	2,632	7	1,94	(1,76)	3	(2,44)	2,22	9	3,15	1	2,76
2	2,451	7	2,352	2	(1,83)	1,66	9	2,27	(2,06)	2	2,82	2	2,59
6	2,340	5	2,187	5	1,74	1,58	4	2,16	1,95	1	2,50	3	2,45
6	2,197	3	2,064	7(8)	1,64	(1,49)	4	(2,09)	1,90	4	2,31	2	2,16
2	2,157	2	1,986	4	1,60	1,46	4	1,96	1,78	2	2,25	9	2,11
1	2,054	3	1,930	5	(1,54)	1,40	5	1,92	1,74	6	2,15	2	1,967
1	1,978	1	1,887	5	(1,44)	1,30	2	(1,81)	1,64	4	1,986	4	1,931
5	1,870	4	1,814	7	1,43	(1,29)	2	1,741	1,578	1	1,864	5	1,751
4	1,814	2	1,701	5	(1,35)	1,22	7	1,635	(1,482)	2	1,784	6	1,638
3	1,756	1	1,639	10(9)	1,30	(1,18)	4	(1,599)	1,450	2	1,730	1	1,604
1	1,713	5	1,597	6	1,26	1,14	3	(1,564)	1,417	2	1,670	1	1,553
3	1,597	5	1,544	7	1,21	(1,10)	3	1,550	1,405	1	1,610	4	1,432
2	1,573	4	1,486	2	(1,19)	1,08	1	1,486	1,347	2	1,590	6	1,347
1	1,544	3	1,409	4	1,08	0,98	5	1,441	1,306	1	1,550	7	1,295
3	1,465	4	1,383	2	1,05	0,95	4	(1,425)	(1,291)	2	1,030	5	1,255
3	1,452	2	1,338	5	1,04	(0,94)	3	1,344	1,218	1	0,964	4	1,213
3	1,409	3	1,287	4	1,01	0,92	10	1,293	(1,172)	2	0,910	3	1,184
3	1,379	1	1,253	3	0,98	0,89	4	1,255	1,138	1	0,840	1	1,081
2	1,303	3	1,225				7	1,208	1,095			2	1,051
2	1,278	3	1,202				3	1,185	1,074			1	1,036
1	1,225	2	1,180				1	1,144	1,0096			3	1,014
2	1,171	1	1,155				2	1,082	0,981			3	1,002
1	1,112	1	1,333				3	1,051	0,953			2	0,980
1	1,096	1	1,110				3	1,037	0,940			3	0,942
1	1,068	3	1,085				5	1,014	0,919			2	0,913
1	1,048	2	1,068				1	1,007	0,913			3	0,887
2	1,031	1	1,038									4	0,840
		2	1,021									3	0,825
		1	1,002										
		1	0,9876										
		3	0,8478										
		2	0,8088										

1. Зодское месторождение. Рентгенограмма выполнена в лаборатории ИМГРЭ Ю. А. Пятенко. Условия съемки: Cu—Ni—излучение; камера РКД-57,3; 2 $\tau$ —0,4 мм; h—4 ч.

2. Зодское месторождение. Рентгенограмма выполнена в лаборатории ИГН АН Арм. ССР Э. Х. Хуршудян. Условия съемки: Cu—Ni—излучение; камера РКД-57,3; 2 $\tau$ —0,4 мм; h—4 ч.

3. Амзачиманское месторождение. Рентгенограмма выполнена в лаборатории ИГН АН Арм. ССР Э. Х. Хуршудян. Условия съемки: Fe $\alpha_3$ —излучение; камера РКД-57,3; 2 $\tau$ —0,4 мм; h—2,5 ч.

4. Намазелянское проявление. Рентгенограмма выполнена в лаборатории ИГН АН Арм. ССР Э. Х. Хуршудян. Условия съемки: Fe $\beta_3$ —излучение; камера РКД-57,3; 2 $\tau$ —0,5 мм; h—5 ч.

5. Каджаранское месторождение. Рентгенограмма выполнена в лаборатории ВИМС Г. А. Сидоренко. Условия съемки: Fe $\alpha_2$ —излучение; камера РКД-57,3; резиновый шарик; h—8 ч.

6. Сарнахпюрское проявление. Рентгенограмма выполнена в лаборатории ИГН АН Арм. ССР Э. Х. Хуршудян. Условия съемки: Fe $\alpha_2$ —излучение; камера РКД-57,3; 2 $\tau$ —0,4 мм; h—8 ч.

Межплоскостные расстояния волюнскита (из семи рентгенограмм приводится одна)\*

I	d $\alpha$ /n	I	d $\alpha$ /n	I	d $\alpha$ /n
1	3,86	3	2,17	1	1,37
1	3,70	2	1,82	1	1,28
1	3,43	1	1,74	1	1,05
1	3,28	1	1,61	1	1,03
10	3,17	1	1,55	1	1,00
1	2,87	1	1,49		
1	2,37	1	1,45		
4	2,25	1	1,41		

\* Условия съемки: камера РКД-57,2, медное излучение с никелевым фильтром (аналитик Н. Г. Баталиева, ИМГРЭ)

зов: Au—7,21—10,16, Pb—51,18—57,2, Sb—6,05—7,39, S—8,62—10,76, Te—17,72—29,88%.

Встречается спорадически в рудах Зодского (Ш. О. Амирян, 1961), Меградзорского (А. И. Карапетян, Ш. О. Амирян, 1963) золоторудных месторождений и Анкаванского медно-молибденового месторождения (А. И. Карапетян, 1961).

На Зодском месторождении ассоциирует с теллуридами золота и серебра, теллуrowисмутитом, тетрадимитом, золотом, мелонитом, пильзенитом, буланжеритом и галенитом; на Анкаванском и Меградзорском месторождениях—с пиритом, сфалеритом, галенитом, халькопиритом, блеклой рудой, энаргитом, тетрадимитом, золотом, аргентитом, гесситом и теллуrowисмутитом (рис. 13).

В отраженном свете—светло-серый, по сравнению с алтанитом и теллуrowисмутитом—серый, темно-серый, с гесситом—серый с голубоватым оттенком, по сравнению с галенитом чуть темнее. Отражательная способность порядка 39—40%. Двуотражение заметно в иммерсии. Слабо анизотропный. Твердость низкая. Наблюдается спайность. Погасание близко к прямому. Микротвердость:  $H_{ср.1} = 106,0$  кг/мм<sup>2</sup>;  $H_{ср.11} = 118,5$  кг/мм<sup>2</sup>. Рельеф выше, чем у алтанита и пильзенита. Образуется пластинчатые, листоватые агрегаты, где отдельные выделения имеют прямоугольные очертания.

От HNO<sub>3</sub> образуется иризирующий налет, от царской водки частично иризирует. Спектральный анализ смеси нагиагита с другими теллуридами, кроме золота, теллура и серебра, показал значительное количество Pb и Sb (3%). Микроспектрально в минерале установлены: Pb, Te, Sb, Au, Ag. Микрохимия на свинец и теллур положительна. В рентгенограмме смеси теллуридов отмечаются линии нагиагита.

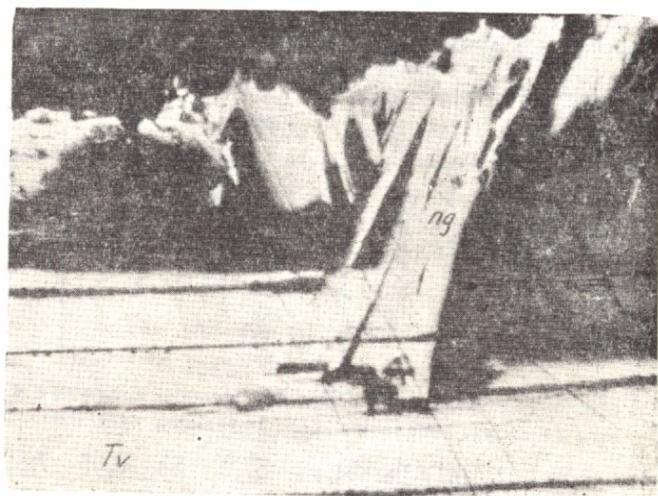


Рис. 13. Пластинчатые выделения нагиагита (ng) и теллуrowисмутита (Tb). Черное—карбонат и кварц. Полир. шлиф.  $\times 100$ . По Ш. О. Амиряну.

Акантит —  $\text{Ag}_2\text{S}$ . Теоретический состав: Ag—87,06, S—12,94. Содержит примеси: Cu, Fe и Pb. Соединение  $\text{Ag}_2\text{S}$  известно в двух полиморфных модификациях: кубическая—аргентит, устойчивая при температуре выше  $179^\circ$  и моноклинная—акантит, образующаяся при температуре ниже  $179^\circ$ .

В рудах Армянской ССР описывался многократно под названием аргентита. Согласно исследованиям Ройа и др. (1959) аргентит как таковой в природе нигде не был встречен, поскольку при температуре ниже  $179^\circ$  (температура инверсии) кубический аргентит полиморфно превращается в моноклинный акантит.

В рудах Ахталского месторождения аргентит упоминается в работе Моргана (1886). Здесь акантит довольно характерен для борнит-теннантитовых руд, где он встречен в полях штроемерита (рис. 14), образует мелкие бесформенные (дендритовидные) выделения, а иногда субграфические сростания (В. О. Пароникян, 1964). Мелкие выделения аргентита в полях галенита отмечены в рудах месторождений Каджаран (С. А. Мовсесян, 1941), Шамлуг, Дастакерт (И. Г. Магакьян, 1947).

Акантит присутствует также в медно-мышьяковых рудах Анкаванского (А. И. Карапетян, 1959), золото-теллуrowых ру-

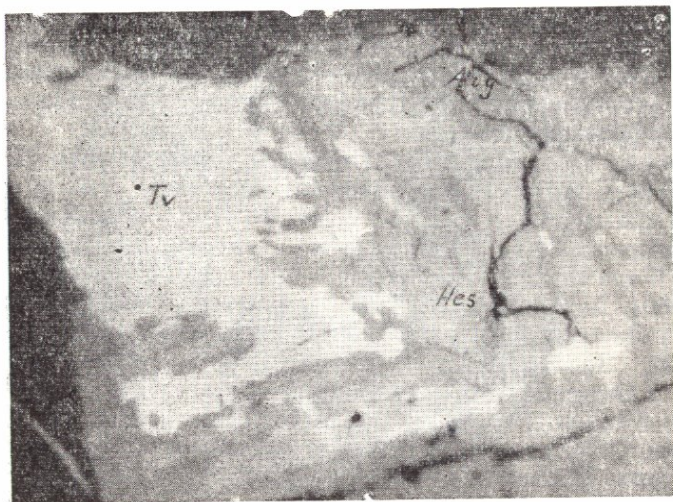


Рис. 14. Срастания теллурависмутита (Tv), гессита (Hes) и акантита (Arg) в полях борнита (Bor). Анкаванское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 500$  (иммерсия). По А. И. Карапетяну.

дах Сарнахпюрского (Н. С. Хачатрян, Б. Д. Акопян) и Меградзорского (Ш. О. Амирян, А. И. Карапетян, 1964), в медно-молибденовых рудах Агаракского (Г. О. Пиджян) и Варденисского (А. Г. Акопян) месторождений.

Акантит полируется очень плохо. Относительный рельеф ниже, чем у других минералов серебра. Отражательная способность ниже, чем у галенита, но выше, чем у блеклой руды. Цвет серо-белый, рядом с галенитом обладает нежным сине-зеленым оттенком. Двухотражение и эффекты анизотропии слабые, усиливаются в масле. Микротвердость акантита из Ахтальского месторождения составляет  $47 \text{ кг/мм}^2$ . Минерал от KCN становится черным, от  $\text{FeCl}_2$ —бурым, а от  $\text{HgCl}_2$ —иризирует (А. И. Карапетян, 1959). Сарнахпюрский акантит подтвержден рентгенометрически (Н. С. Хачатрян, Б. Д. Акопян).

Ялпайт— $\text{Ag}_3\text{CuS}$ . Теоретический состав: Ag—71,73, Cu—14,06, S—14,21. Установлен в борнитовых рудах Ахтальского месторождения (В. О. Пароникян, 1962). Встречается в виде тонкопластинчатых и бесформенных выделений величиною обычно  $0,008$ — $0,01 \text{ мм}$ ; иногда обволакивает акантит или же располагается в периферических частях выделений штромейерита. Минерал полируется лучше, чем штромейерит, относительный рельеф немного выше, чем у последнего. Цвет в

отраженном свете серо-белый. Отражательная способность для оранжевых лучей  $\sim 29\%$ . Двуетражение в зависимости от сечений агрегатов изменяется от слабого до умеренного. Умеренно—сильно анизотропный. В масле эффекты двуетражения и анизотропии значительно усиливаются. Внутренние рефлексy отсутствуют. Структура минерального агрегата—аллотриоморфнозернистая.

Гессит— $\text{Ag}_2\text{Te}$ . Теоретический состав:  $\text{Ag}$ —62,86%,  $\text{Te}$ —37,14%. Почти всегда содержит включения золота. В качестве примесей отмечаются  $\text{Pb}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{V}$ . Имеет довольно широкое распространение. Установлен в рудах Каджаранского (А. С. Фарамазян, 1958), Калерского (Б. М. Меликсетян и др., 1960), Анкаванского (А. И. Карапетян, 1961), Дастакертского и Джиндаринского (Г. О. Пиджян, 1966), медно-молибденовых; Зодского (Ш. О. Амирян, 1961), Меградзорского (А. И. Карапетян, Ш. О. Амирян, 1963), Амзачиманского (Ш. О. Амирян, 1966) золоторудных, Азатекского (В. О. Паронилян, 1961) сурьмяно-полиметаллического и Кафанского—Ленгруппа, Шаумян-Халадж (Р. Н. Зарьян, 1962) медно-колчеданных месторождений.

Ассоциирует с галенитом, сфалеритом, халькопиритом, блеклой рудой, золотом, теллуrowисмутитом, алтаитом, мелонитом и другими сульфидами, сульфосолями и теллуридами (рис. 15, 16).

Макроскопически стально-серый с металлическим блеском. В отраженном свете—светло-коричневый. Отражательная способность для желтых лучей составляет  $\sim 41\%$ , больше, чем у нагиагита, петцита и меньше, чем у галенита. Заметно двуетражающий с цветным эффектом в серо-синих, светло-коричневых тонах. Отчетливо анизотропный с цветным эффектом в темно-оранжевых, темно-серо-синих тонах. Анизотропия пятнистая. Твердость низкая—ниже, чем у ассоциирующих с ним остальных теллуридов. Наблюдается спайность. Микротвердость:  $N_{\text{ср.}} = 37 \text{ кг/мм}^2$  (Зодское месторождение) и  $30\text{—}35 \text{ кг/мм}^2$  (Дастакерт). Образует неравномернозернистые агрегаты.

От  $\text{HNO}_3$  иризирует, чернеет,  $\text{HCl}$ —слегка чернеет,  $\text{FeCl}_3$ —иризирует. Микроспектрально в нем установлены  $\text{Ag}$ ,  $\text{Te}$ ,  $\text{Au}$ ,  $\text{V}$  (много). Спектрально в минералах-носителях определено— $\text{Ag}$ ,  $\text{Te}$ —0,1—0,3%.

Рентгенограмма порошка гессита из Зодского и Меградзорского (Амирян Ш. О., 1968) и Кафанского (Зарьян Р. Н., 1963) месторождений приводится в табл. 89 и сходна с эталоном (В. И. Михеев, 1957).

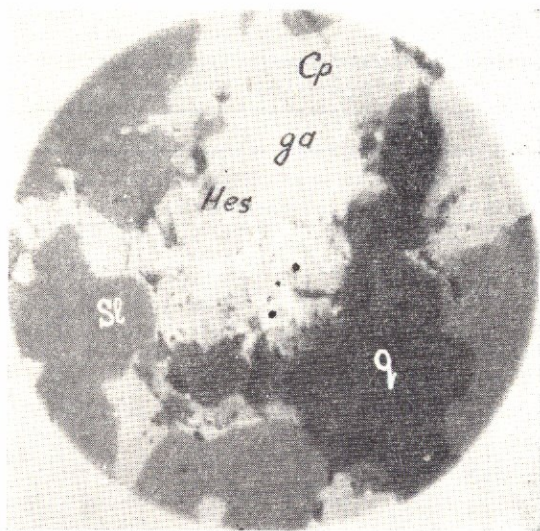


Рис. 15. Тесные сростания гессита (Hes) с самородным золотом (белое) в ассоциации с сфалеритом (Sl), галенитом (ga), халькопиритом (Cr) и кварцем (q). Каджаранское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 350$ . По А. С. Фарамазю.

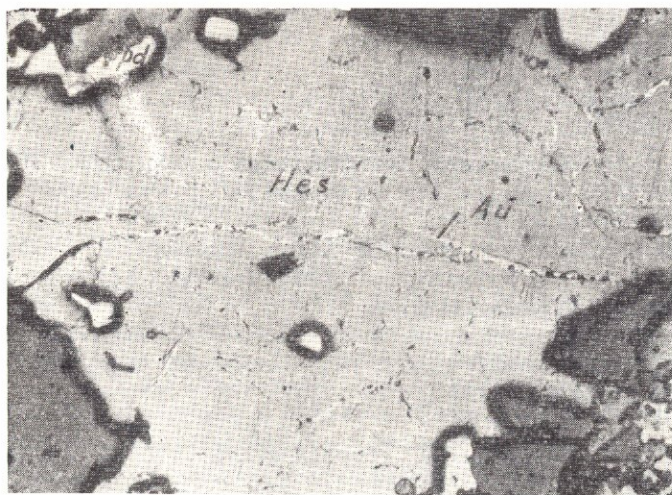


Рис. 16. Гессит (Hes) замещает полидимит (Pd). В полях гессита мелкие выделения золота (Au). Серое—хромит. Зодское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 110$ . По Ш. О. Амиряну.

Межплоскостные расстояния гессита из различных месторождений  
Армянской ССР

1			2			3	
I	$d_{\alpha}/n$	$d_{\beta}/n$	I	$d_{\alpha}/n$	$d_{\beta}/n$	I	$d_{\alpha}/n$
3	3,63	3,29	3	3,33	3,00	1	3,74
7	(3,02)	2,73	1	(3,14)	2,84	2	3,15
5	2,95	2,68	10	2,99	2,70	5	3,02
10	2,72	(2,47)	10	2,87	2,59	7	2,85
6	2,406	2,181	7	2,71	2,45	1	2,77
6	2,288	(2,074)	3	(2,46)	2,22	2	2,45
4	2,216	2,009	6	2,32	2,10	8	2,33
8	2,094	1,898	7	2,123	1,916	7	2,25
7	2,004	1,816	5	2,022	1,825	1	2,17
5	1,872	1,697	7	1,896	1,711	5	2,12
4-5	1,817	1,647	5	1,686	1,522	1	2,02
1	1,712	1,551	5	1,537	1,387	1	1,95
1	1,673	1,517	2	1,446	1,305	1	1,86
1	1,605	1,455	3	1,387	1,252	1	1,78
2	1,560	1,414	6	1,312	1,184	1	1,594
2-3	1,465	1,328	1	1,199	1,082	2	1,445
1	1,440	1,305	3	0,999	0,902	3	1,386
6	1,383	1,254	6	0,984	0,888	1	1,338
7	1,316	1,193	6	0,939	0,847	2	1,275
3-4	1,296	1,175	6	0,893	0,806	1	1,250
3-4	1,274	1,154	3	0,866	0,781	1	1,193
4	1,205	1,092	3	0,825	0,744	2	1,115
2	1,117	1,012				2	1,051
1	1,104	1,001				1	0,936
3ш	1,068	0,968					
2ш	1,048	0,950					

1. Зодское месторождение. Анализ выполнен в лаборатории ИГН АН Арм. ССР Э. Х. Хуршудян. Условия съемки: Fe<sub>αβ</sub> — излучение; камера РКД—57,3; 2г—0,5 мм; h—8 ч.

2. Меградзорское месторождение. Анализ выполнен в лаборатории ИГН АН Арм. ССР Э. Х. Хуршудян. Условия съемки: Cu<sub>αβ</sub> — излучение; камера РКД—57,3; резиновый шарик; h—12 ч.

3. Кафанское месторождение. Анализ выполнен в лаборатории ВИМС Г. А. Сидоренко. Условия съемки: Fe<sub>α</sub> — излучение; камера РКД—57,3; резиновый шарик; h—8 ч.

Петцит—Ag<sub>3</sub>AuTe<sub>2</sub>. Теоретический состав: Ag—41,71, Au—25,48, Te—32,87%. В качестве примесей встречаются: Bi, Hg, Pb, Cu.

Установлен в рудах Кафанского (Э. А. Хачатурян, 1958) медно-колчеданного, Каджаранского (А. С. Фарамазян, 1958)

и Анкаванского (А. И. Карапетян, 1961) медно-молибденовых, Зодского, Амзачиманского (Ш. О. Амирян, 1961, 1966) и Меградзорского (А. И. Карапетян, Ш. О. Амирян, 1963) золоторудных месторождений.

Встречается в ассоциации с гесситом, колорадоитом, золотом, теллуrowисмутитом, сильванитом, калаверитом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом и пиритом.

Цвет петцита в отраженном свете галенитово-белый с нежно-сиреневым оттенком. Отражательная способность около 40%, для петцита из Кафана приводится значение  $\sim 44\%$  (Р. Н. Зарьян, 1963), изотропный; в кафанских и меградзорских рудах отмечается анизотропная разность (Э. А. Хачатрян, 1958; Ш. О. Амирян, 1968). Твердость низкая. Рельеф выше, чем у гессита и алтанта. Спайность не наблюдается. Микротвердость:  $H_{\text{ср.}} = 51 \text{ кг/мм}^2$ . Представлен зернистыми агрегатами.

От  $\text{HNO}_3$  вскипает,  $\text{FeCl}_3$ —слабо иризирует (радужный налет),  $\text{HCl}$ —радужный налет. Микроспектральным анализом в нем установлены: Au, Ag, Te (много), Bi, Hg (следы).

Спектральным анализом в петците из Меградзорского месторождения были определены: Au, Ag > 10, Cu—0,03, Pb—0,1, Te > 3, Bi—0,003, Zn—0,01%; Cu, Pb, Sn, Bi представлены в виде механической примеси.

Межплоскостные расстояния петцита приводятся в табл. 90 и сходны с эталоном (В. И. Михеев, 1957). Следует отметить, что в приведенных рентгенограммах присутствуют некоторые линии сильванита, калаверита и гессита, которые тесно сростаются с петцитом.

**Штроемейерит** —  $\text{Ag}_{1-x}\text{CuS}$ . Теоретический состав, Ag—53,03, Cu—31,21, S—15,76%. Содержит примеси Fe, Zn, Pb. Установлен в рудах Ахтальского месторождения А. И. Карапетяном (1961) и В. О. Пароникяном (1962). Встречается в борнит-теннантитовых рудах в парагенезисе с самородным серебром, галенитом (рис. 17), ялпанитом, стефанитом (рис. 18), полибазитом, а также борнитом, блеклой рудой, халькопиритом и др. Штроемейерит обычно образует бесформенные выделения микроскопической величины в полях и на стыках сульфидов. Нередко его тонкие мономинеральные прожилки мощностью 1—1,5 мм пересекают поля халькопирита, борнита, теннантита, сфалерита и галенита. Отмечаются субграфические сростания штроемейерита с акантитом и ялпанитом.

Штроемейерит полируется довольно хорошо, однако всегда остается тонкоисштрихованным. Относительный рельеф ниже, чем у галенита, и немного выше, чем у акантита. Микротвердость колеблется в пределах 39—57  $\text{кг/мм}^2$  и по 8 измерениям

## Межплоскостные расстояния петцита из золоторудных месторождений Армянской ССР (Ш. О. Амирян)

1		2		
l	$d\alpha/n$	l	$d\alpha/n$	$d\beta/n$
3	2,99	3	3,62	3,28
10	2,77	2	3,24	2,94
2	2,57	4	(3,03)	2,75
7	2,44	3	2,97	2,69
7	2,32	10	2,75	(2,50)
9	2,114	2—3	(2,68)	2,43
8	2,037	2—3	(2,53)	2,29
8	1,892	6	2,42	2,20
7	1,828	7	2,31	2,09
1	1,687	4	(2,24)	2,03
1	1,631	9	2,11	1,91
5	1,565	8	2,03	(1,84)
6	1,530	6	1,897	1,719
5	1,499	5	1,830	1,659
6	1,469	1	(1,722)	1,561
4—5	1,440	2	(1,683)	1,526
5	1,409	2	(1,620)	1,468
7	1,387	4	1,565	(1,419)
10	1,320	5	(1,528)	(1,385)
4	1,300	3	1,497	1,356
5	1,276	4	1,465	1,328
5	1,210	3	1,441	1,306
6	1,175	3	(1,406)	1,274
8	1,136	6	1,387	1,257
4	1,119	7—8	1,316	1,194
2	1,108	4	1,295	1,174
4	1,094	5	1,271	1,159
5	1,072	2	1,234	1,118
4	1,050	4	1,206	1,093
1	1,026	4	1,175	1,065
2	1,009	2	1,147	1,039
5	0,990	3	1,132	1,026
3	0,965	2	1,118	1,013
4—5	0,926	2	1,105	1,002
3	0,897	3	1,090	0,988
4	0,883	4	1,071	0,971
3—4	0,870	3	1,050	0,951
3	0,860			
2ш	0,837			
3ш	0,825			

1. Меградзорское месторождение. Анализ выполнен в лаборатории ИГН АН Арм. ССР Э. Х. Хуршудян. Условия съемки: Си—Ni—излучение, камера РКД—57,3; 2г—0,5 мм; h—27 ч.

2. Зодское месторождение. Анализ выполнен в лаборатории ИГН АН Арм. ССР Э. Х. Хуршудян. Условия съемки: Fe<sub>αβ</sub> — излучение; камера РКД—57,3; 2г—0,5 мм; h—12 ч.



Рис. 17. Штромейерит (St) в полях галенита (ga) в ассоциации с акантитом (Arg). Ахталское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 350$ . По А. И. Карапетяну.

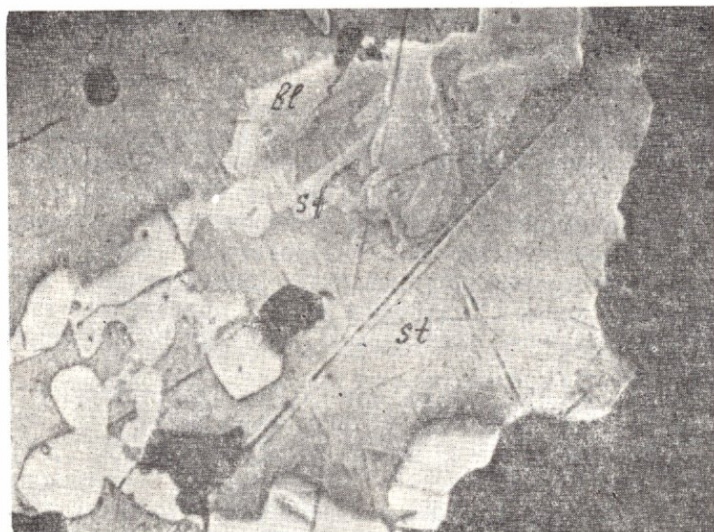


Рис. 18. Каемки стерфанита (Si) вокруг блеклой руды (bl) в полях штромейерита (St). Ахталское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 160$ . По В. О. Пароникяну.

в среднем составляет 47 кг/мм<sup>2</sup>. Удельный вес, определенный методом измерения объема и веса минерала из микронавески, составляет 6,16.

В отраженном свете серо-белый с нежно-сиреневым оттенком. Отражательная способность по 4 измерениям для оранжевых лучей составляет в среднем ~ 26,6%. Кривая дисперсии отражательной способности штрмейерита характеризуется максимумом в синей и фиолетовой части спектра, что обусловлено розовато-фиолетовым оттенком минерала. Двухотражение от слабого до умеренного; в масле заметно усиливается, с цветным эффектом: Rp — буровато-серый, Rg — серо-белый с нежно-розовым оттенком. В скрещенных николях умеренно — сильно анизотропный. При этом структура минерального агрегата напоминает олеандровые листья, расположенные в виде решетки или же паркета. Встречаются также аллотриоморфнозернистые агрегаты.

Подобные структуры, как известно (П. Рамдор, 1962), возникают при превращении кубического штрмейерита в ромбический. Температура инверсии примерно равна 93°C. Если исключить возможность искусственного нагревания образцов, что могло иметь место в процессе изготовления полированных шлифов (П. Рамдор, 1962), то температуру образования штрмейеритов Ахтальского месторождения можно принять выше 93°C.

Химический анализ Ахтальского штрмейерита (аналитик Л. Е. Нестерова) показал наличие Ag—50,38, Cu—31,62, S—16,25, Fe—0,26, As—0,18, Sb—0,66%. Вышеприведенным данным соответствует формула  $Ag_{0,92} Cu_{1,88} S$ . Спектральными анализами в мономинеральном штрмейерите установлены: Mo—0,003—0,05, Sb, As, Zn—0,1—3,0, Cd—до 0,04, Ge—до 0,01, Ga—до 0,001, Au—0,001, Hg—до 0,003%.

Принадлежность минерала к штрмейериту подтверждена рентгенометрически (В. О. Пароникян, 1962). Межплоскостные расстояния штрмейерита, определенные методом порошка и шарика с резиновым клеем, приведены в табл. 91. Полученные данные идентичны с таковыми штрмейерита из Канады.

Р и к к а р д и т —  $Cu_4Te_3$  или  $Cu_3Te_2$ . Теоретический состав для  $Cu_4Te_3$ : Cu—39,91, Te—60,09%; для  $Cu_3Te_2$ : Cu—42,77%, Te—57,23%. Встречается весьма редко. Обнаружен в рудах верхних горизонтов Зодского золоторудного месторождения (Т. А. Твалчрелидзе, 1959) в ассоциации с золотом, теллуридами золота, серебра, висмута, свинца, совместно со вторичными продуктами по ним. Возможно, является вторичным образованием.

Межплоскостные расстояния штрмейерита  
из Ахталского месторождения

1		2	
l	dz/n	l	dz/n
1	3,443	3	3,48
4	3,317	7	3,34
4	3,056	4	3,06
10	2,62	10	2,61
2	2,547	1	2,55
1	2,086	2	2,08
4	2,041	4	2,01
4	2,002	3	1,998
1	1,930	—	—
8	1,889	4	1,888
8	1,746	4	1,736
1	1,584	1	1,572
1	1,455	1	1,451
7	1,423	3	1,423
1	1,309	1	1,308
5	1,260	3	1,260
5	1,237	2	1,250
—	—	2	1,232
3	1,131	1	1,143
3	1,108	2	1,108
3	1,096	1	0,872

1. Анализ выполнен в лаборатории ИГН АН Арм. ССР С. В. Геворкян. Условия съемки:  $\text{Cu-Ni}$ —излучение; камера РКД—57,3;  $2\theta$ —0,5;  $h$ —5 ч.

2. Анализ выполнен в лаборатории ИГЕМ Г. В. Басовой. Условия съемки:  $\text{Fe}_x$ —излучение; камера РКД—57,3; резиновый шарик;  $h$ —3 ч.

В отраженном свете пурпурно-красный, серо-фиолетовый, оранжевый (цвет пятнистый). Отражательная способность 20—22%, выше сфалерита, ниже блеклой руды. Сильно двуотражающий (в красных, фиолетово-серых тонах). Сильно анизотропный (в желтых, коричнево-красных тонах). Твердость низкая. Рельеф выше вейссита, почти равен рельефу золота. Наблюдается спайность. Микротвердость:  $H_{\text{ср.}-1} = 55,4$  кг/мм<sup>2</sup>,  $H_{\text{ср.}-1}^1 = 65,8$  кг/мм<sup>2</sup>.

Травится  $\text{HNO}_3$  (чернеет),  $\text{HCl}$  (серо-коричневый налет),  $\text{KCN}$  (посветление),  $\text{FeCl}_3$  (светлеет—буреет),  $\text{KOH}$  (иризирует). Микрoхимия на  $\text{Cu}$  и  $\text{Te}$  положительна. Микроспектраль-

но в минерале определено много  $\text{Cu}$  и  $\text{Te}$ , следы золота, серебра, железа, свинца (Ш. О. Амирян, 1961).

**Вейссит** —  $\text{Cu}_5\text{Te}_3$  или  $\text{Cu}_2\text{Te}$ . Теоретический состав для  $\text{Cu}_2\text{Te}$ :  $\text{Cu}$ —49,91%,  $\text{Te}$ —50,09%, для  $\text{Cu}_5\text{Te}_3$ :  $\text{Cu}$ —45,36;  $\text{Te}$ —54,64%. Встречается очень редко. Обнаружен совместно с риккардитом в полуокисленных рудах верхних горизонтов Зодского золоторудного месторождения (Ш. О. Амирян, 1961) в ассоциации с золотом, калаверитом, теллурувисмутитом, самородным теллуrom, мелонитом, халькопиритом, блеклой рудой и вторичными продуктами  $\text{Te}$ ,  $\text{Bi}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Sb}$ ,  $\text{As}$ .

В отраженном свете светло-серый с голубоватым оттенком. Отражательная способность близка к тетраэдриту (~28). Слабо двуотражающий. Заметно анизотропный. Твердость низкая. Спайность не наблюдается. Рельеф ниже риккардита, но выше рельефа гессита, петцита, алтаита. Микротвердость  $H_{\text{ср-1}} = 46,4$  кг/мм<sup>2</sup>,  $H_{\text{ср-11}} = 54,5$  кг/мм<sup>2</sup>.

От  $\text{HNO}_3$  вскипает и бурет; от  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$  становится светло-бурым, от  $\text{KOH}$ —слегка светло-бурым.

Микрохимические испытания на  $\text{Cu}$  и  $\text{Te}$  положительные. Микроспектральными анализами в выделениях определены медь, теллур, железо, золото и серебро.

**Алтаит** —  $\text{PbTe}$ . Теоретический состав:  $\text{Pb}$ —61,91,  $\text{Te}$ —38,09%. В виде примесей содержит:  $\text{Au}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Fe}$ .

Является одним из широко распространенных теллуридов. Установлен в рудах Кафана (Э. А. Хачатурян, 1958), Каджарана (А. С. Фарамазян, 1958), Зода (Г. А. Твалчрелидзе, 1959), Калера (Б. М. Меликсетян и др., 1960), Анкавана (А. И. Карапетян, 1961), Азатека (В. О. Пароникян, 1962), Меградзора (А. И. Карапетян, Ш. О. Амирян, 1963), Амзачимана (Ш. О. Амирян, 1966), Дастакерта и Джиндары (Г. О. Пиджян, 1966).

Ассоциирует с пиритом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом, золотом, теллуридами золота, серебра, висмута и другими сульфидами и сульфосолями. Обычно встречается в полиметаллических и золото-теллуридных рудах (рис. 19, 20, 21).

Макроскопически оловянно-белый, с металлическим блеском. В отраженном свете белый с нежно-зеленоватым оттенком. Отражательная способность для зеленых и желтых лучей 61%. Изотропный. Твердость низкая. Рельеф ниже мелонита, креннерита, калаверита, сильванита, петцита, галенита, но выше гессита. Заметна спайность. Нередко с треугольниками выкрашивания. Микротвердость:  $H_{\text{ср.}} = 54,5$  кг/мм<sup>2</sup> для зодского алтаита, 37 кг/мм<sup>2</sup> — анкаванского, 45,0 кг/мм<sup>2</sup> — кафанского.

От  $\text{HNO}_3$  вскипает и темнеет,  $\text{HCl}$  и  $\text{FeCl}_3$  тускнеет, при-

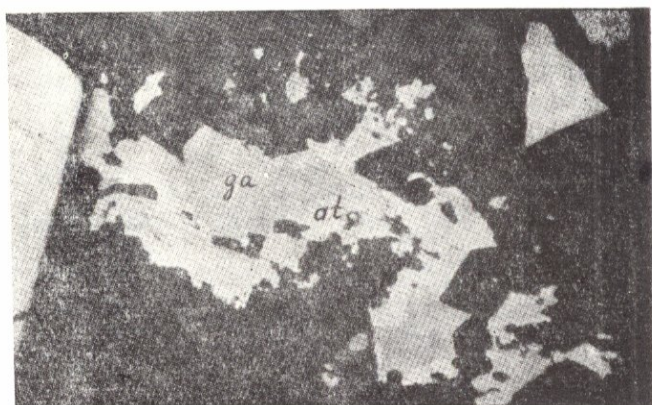


Рис. 19. Выделения алтаита (at) в сростаниях с галенитом (ga), выполняющие промежутки ромбоэдров кальцита (черное). Кафанское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 100$ . По Р. Н. Зарьяну.



Рис. 20. Структура замещения галенита (ga) и теллуrowисмутита (Tv) бурнонитом (Bir) и алтаитом (at). Черное—карбонат. Зодское месторождение.  $\times 150$ . По Ш. О. Амирану.

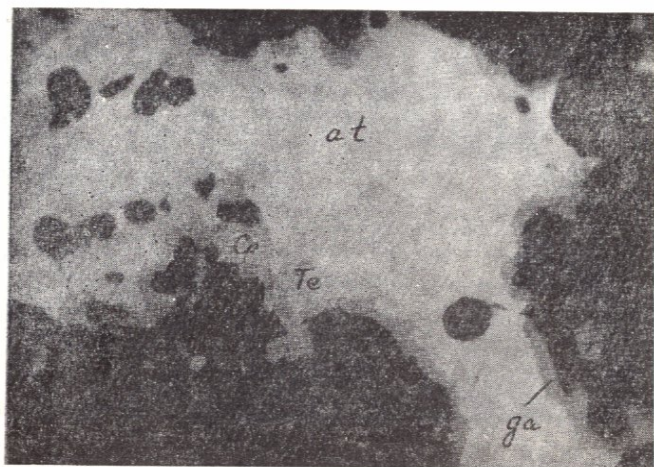


Рис. 21. Выделение алтаита (at) с самородным теллуrom (Te) в срaстаниях с халькопиритом (Ср) и галенитом (ga). Черное—кварц. Каджаранское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 300$ . По А. С. Фарамазяну.

зирует, буреет, от царской водки иризирует. Микроспектрально в нем установлены: Pb, Te, Ag, Zn, Cu. Химическим анализом в алтаите определены: Se, Ag, As, Bi, Au, Sb и другие элементы (табл. 92).

Основная часть элементов, обнаруженная химическим анализом в алтаите (табл. 92), связана с механическими примесями. В кафанском алтаите под микроскопом наблюдаются многочисленные включения сфалерита, галенита, халькопирита и пирита. Зодский алтаит тесно срастается с теллуrowисмутитом, нагиагитом, гесситом и нередко включает арсенопирит, галенит, сфалерит и другие ассоциирующие минералы.

Спектральным анализом в кафанском алтаите установлены: Pb, Te  $\gg 10\%$ , Zn  $> 1,0$ , Cu, Fe—0,1—0,3, Bi—0,1, Ag, Sb Cd—0,01, Ti, Ga—0,001, Mg, Ca, Mn, Si—0,0п—0,00п%. В зодском и меградзорском алтаите установлены: Pb, Te  $\gg 10\%$ , Fe, Sb, As—1,0, Au, Ag—1—3, Si, Ni—0,1—0,3, Al, Mg, Ca, Co—0,01—0,03, Cr, Cu, Sn—0,001—0,003%. Большая часть из приведенных элементов представлена в нем в виде механической примеси.

Рентгенометрическими анализами (табл. 93) алтаит подтвержден из Зодского, Меградзорского, Амзачиманского (Ш. О. Амирян, 1968, 2), Кафанского и Каджаранского (Р. Н. Зарьян, 1963) месторождений.

## Химический состав алтантов

Месторождения	Содержание элементов, ‰												Сумма	Аналитик и автор
	Pb	Te	Se	Ag	As	Sb	Zn	Fe	Cu	Bi	Au	Не- раств. остат.		
Зод	57,85	30,05	0,180	2,0	1,0	0,8	—	—	—	3,0	2	2,44	99,32	Т. Т. Авакян (Ш. О. Амирян, 1969)
Кафан	60,00	32,75	0,30	—	—	—	2,61	0,16	0,15	—	—	3,53	99,50	Т. Т. Авакян (Р. Н. Зарьян, 1963)
Меградзор	61,00	36,20	0,05	1,00	0,10	0,10	—	—	0,15	0,10	0,95	0,80	100,45	К. Погосян (Ш. О. Амирян, 1964)

Межплоскостные расстояния алганта из различных месторождений  
Армянской ССР

1			2			3			4		5	
l	$d\alpha/n$	$d\beta/n$	l	$d\alpha/n$	$d\beta/n$	l	$d\alpha/n$	$d\beta/n$	l	$d\alpha/n$	l	$d\alpha/n$
2	3,688		5	3,51	3,18	3	3,54	3,213	1	3,76	1	3,71
4	3,500	3,20	9	3,11	2,82	9	3,216		1	3,42	9	3,25
10	3,200		1	2,91	2,64	4	2,516	2,281	10	3,23	1	2,91
5	2,513	2,268	6	2,49	2,26	10	2,283		2	2,97	1	2,63
10	2,265		10	2,27	2,06	1	2,134		9	2,288	9	2,27
2	1,934		3	2,04	1,85	2	2,049	1,934	3	2,104	1	1,928
7	1,856		2	1,93	1,75	3	1,938	1,857	3	1,948	8	1,846
3	1,785	1,611	9	1,851	1,677	8	1,858		8	1,866	4	1,607
6	1,612		3	1,773	1,607	1	1,780		2	1,786	6	1,437
3	1,598	1,442	1	1,703	1,544	6	1,617	1,613	2	1,710	5	1,312
1	1,457	1,315	7	1,607	1,456	3	1,592		8	1,614	1	1,139
10	1,438		6	1,585	1,437	10	1,445	1,443	2	1,491	2	1,071
7	1,317		1-2	1,477	1,339	9	2,320		9	1,445	2	1,019
2	1,191	0,075	10	1,437	1,302	2	1,189		9	1,315	1	0,954
4	1,130		9	1,314	1,191	4-5	1,143	1,078	1	1,206	1	0,869
8	1,077		1	1,255	1,138	2	1,128		7	1,141	1	0,862
6	1,021		2	1,183	1,073	9	1,076		8	1,077		
1	0,981	0,884	5	1,140	1,033	7	1,022		7	1,022		
5	0,974		4	1,122	1,017				2	0,972		
1	0,957	0,864	1	1,090	0,988				1	0,932		
1	0,932	0,841	9ш	1,070	0,974				2	0,896		
5	0,896		8ш	1,020	0,925				2	0,863		
7	0,864								1	0,808		
2	0,842											
3	0,807											

1. Зодское месторождение. Анализ выполнен в лаборатории ИГН АН Арм. ССР Э. Х. Хуршудян. Условия съемки:  $Cu_{\alpha\beta}$  — излучение; камера РКД—57,3;  $2g$ —0,4 мм;  $h$ —5 ч.

2. Меградзорское месторождение. Анализ выполнен в лаборатории ИГН АН Арм. ССР Э. Х. Хуршудян. Условия съемки:  $Fe_{\alpha\beta}$  — излучение; камера РКД—57,3;  $2g$ —0,5 мм;  $h$ —3,5 ч.

3. Амзачиманское месторождение. Анализ выполнен в лаборатории ИГН АН Арм. ССР Э. Х. Хуршудян. Условия съемки:  $Fe_{\alpha\beta}$  — излучение; камера РКД—57,3;  $2g$ —0,5 мм;  $h$ —3,5 ч.

4. Кафанское месторождение. Анализ выполнен в лаборатории ВИМСа Г. А. Сидоренко. Условия съемки:  $Cu_{\alpha}$  — излучение; камера РКД—57,3;  $2g$ —0,4 мм;  $h$ —5 ч.

5. Каджаранское месторождение. Анализ выполнен в лаборатории ВИМСа Г. А. Сидоренко. Условия съемки:  $Fe_{\alpha}$  — излучение; камера РКД—57,3; резиновый шарик;  $h$ —8 ч.

Колорадоит —  $\text{HgTe}$ . Теоретический состав:  $\text{Hg}$  — 61,14%,  $\text{Te}$  — 38,86%. В качестве примеси отмечаются  $\text{Pb}$ ,  $\text{Au}$ ,  $\text{Ag}$ . Очень редкий теллурид. В Советском Союзе впервые обнаружен в рудах Зодского золоторудного месторождения (Ш. О. Амирян, 1961), а затем П. С. Бернштейном и в рудах Меградзорского. Ассоциирует с гесситом, петцитом, сильванитом, алтаитом, калаверитом и другими теллуридами. Представлен небольшими выделениями (размером 0,001—0,05 мм).

В отраженном свете — серый с коричневым оттенком. По сравнению с гесситом розово-коричневый и более темный, с алтаитом — коричнево-серый, с креннеритом, калаверитом — темно-серый. Отражательная способность для желтых лучей 38%. Изотропный. Твердость низкая, полируется хорошо. Рельеф выше рельефа петцита, гессита, алтаита. Слайность не наблюдается. Микротвердость:  $H_{\text{ср.}} = 59 \text{ кг/мм}^2$ .

От  $\text{HNO}_3$  бурет, иризирует,  $\text{FeCl}_3$  — иризирует. Микрохимия на  $\text{Hg}$  и  $\text{Te}$  положительна. Микроспектральными анализами изолированных выделений определены:  $\text{Hg}$ ,  $\text{Te}$ ,  $\text{Au}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Bi}$ .

Полуколичественными спектральными анализами в мономинеральных пробах и теллуридовых концентратах определены:  $\text{Hg}$  — 0,001—0,3%, наряду с  $\text{Te}$ ,  $\text{Bi}$ ,  $\text{Au}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Pb}$  и  $\text{Cu}$  (содержание которых составляет 3—10%), при отсутствии киновари в рудах. Меградзорский колорадоит подтвержден также рентгенометрически (П. С. Бернштейн и др.).

Висмутин —  $\text{Bi}_2\text{S}_3$ . Теоретический состав:  $\text{Bi}$  — 81,2%,  $\text{S}$  — 18,8%. В виде примесей содержит в небольших количествах  $\text{Pb}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Sb}$ ,  $\text{Te}$  и др. Из них  $\text{Pb}$ ,  $\text{Sb}$  и  $\text{Te}$  могут изоморфно замещать висмут и серу. Висмутин является распространенным минералом в медно-молибденовой и отчасти золоторудной формациях руд и редко встречается в колчеданной формации. Установлен в рудах следующих месторождений: Каджаранского (З. В. Рупасова), Дастакертского (И. Г. Магакьян, 1946), Зодского (Т. А. Твалчрелидзе, 1959), Алавердского, Шамлугского (И. Г. Магакьян, 1947), Агаракского, Джиндаринского, Айгедзорского, Анкаванского (Г. О. Пиджян), Кафанского (В. И. Сотников, Ван-цзу-бан, 1959), Сарнахпюрского (Н. С. Хачатрян, Б. Д. Акопян), Меградзорского (Ш. О. Амирян, А. И. Карапетян, 1964), Варденисского, Азатекского, (Ш. О. Амирян, А. Г. Акопян), Личкваского (Ш. О. Амирян, 1966) и Амзачиманского (Ш. О. Амирян).

В медно-молибденовых месторождениях висмутин встречается в рудах кварц-халькопирит-молибденитовой, кварц-халькопиритовой и кварц-полиметаллической стадий минерализации, главным образом, в полях халькопирита (рис. 22), борнита и галенита. Представлен мельчайшими удлиненными,

призматическими формами и редко образует овальные зерна. Размеры зерен и выделения висмутита в отдельных случаях достигают 0,1—0,2 мм и более. Наиболее крупные выделения отмечены в рудах Дастакерта и Айгедзора. Тесные сростания

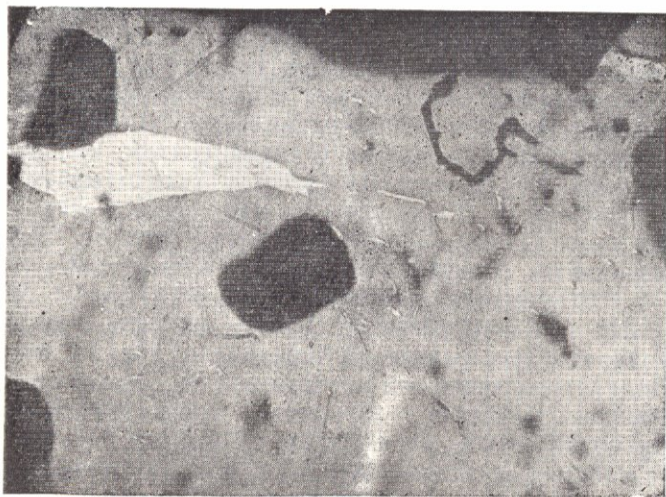


Рис. 22. Выделение висмутита (серовато-белое) в халькопирите (серое). Айгедзорское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 130$ . По Г. О. Пиджяну.

висмутин образует с виттихенитом (рис. 23), эмплектитом и купровисмутитом (?), которые развиваются в периферических частях, окаймляют висмутин и обычно замещают его. В кварц-полиметаллической стадии минерализации Каджаранского месторождения висмутин встречается также в ассоциации с галенитом, галенобисмутитом и айкинитом. Обычно галенит окаймляется висмутином, а во внутренних зонах образуются сульфовисмутиты свинца, галенобисмутит и айкинит (А. С. Фарамазян).

В рудах Зодского месторождения висмутин ассоциирует с пиритом, халькопиритом, марказитом, сфалеритом, самородным висмутом, теллуридами и золотом. Образует ангдральные выделения в промежутках зерен и агрегатов сульфидов, обычно замещает их и замещается теллуридами (Ш. О. Амирян, 1961). В колчеданных месторождениях висмутин ассоциирует с борнитом, галенитом, блеклыми рудами, а на Сарнахпюрском проявлении — с теллуридами и золотом.

В отраженном свете висмутин белый, примерно такой же яркий, как галенит, однако по сравнению с ним имеет нежный



Рис. 23. Выделение висмутила (Bi) в страстании с виттихенитом (Vit) и эмплектитом (Em) в поле халькопирита (Cr). Каджаранское месторождение. Полир. шлиф. (иммерсия).  $\times 450$ . По А. С. Фармазяну.

желтовато-кремовый оттенок и несколько светлее его. Отражательная способность близка к халькопириту  $R_g=46-49\%$ , для отдельных выделений несколько различная в зависимости от сечения. Измерение отражательной способности висмутита из Дастакертского месторождения на установке с фотоумножителем при оранжевом светофильтре показало  $R_g=49\%$  и  $R_p=45\%$  (Г. О. Пиджян). В скрещенных николях отчетливо анизотропен без цветных эффектов. Двухотражение в воздухе заметно, но слабое, в иммерсии усиливается. Рельеф низкий, примерно такой, как у галенита. При наблюдении в иммерсии по удлинению зерен заметны трещины спайности. Полируется хорошо. Внутренние рефлексии отсутствуют. При действии  $HNO_3$  мгновенно чернеет, а после стирания остается сероватая шероховатая поверхность. Кроме микроскопических данных, при диагностике висмутита из Каджарана, Дастакерта, Анкавана и других месторождений произведены микрохимический и микроспектральный анализы, показавшие наличие висмута.

Висмутин из Дастакертского месторождения подтвержден рентгенометрическими исследованиями (Г. О. Пиджян). Ана-

лиз произведен в минераграфической лаборатории ИГЕМ Г. В. Басовой. Условия съемки Fe—излучение, камера РКД ( $2R=57,3$  мм),  $d=0,3$  мм, экспозиция 5 часов.

Таблица 94

Межплоскостные расстояния висмутина  
из Дастакертского месторождения

I	$d\alpha/n$	I	$d\alpha/n$	I	$d\alpha/n$
1	5,21	3	2,38	2	1,341
5	4,11	3	2,28	2	1,304
9	3,72	4	2,03	3	1,278
9	3,60	4	1,998	1	1,213
2	3,34	5	1,768	3	1,160
4	3,06	2	1,651	2	1,077
9	2,85	4	1,594	2	1,070
4	2,69	3	1,527	1	1,052
3	2,61	4	1,409	2	0,989
2	2,49	2	1,387		

Межплоскостные расстояния висмутина из Дастакерта (табл. 94) с некоторыми отклонениями совпадают с данными эталона висмутина из месторождения Персберг, Швеция (В. И. Михеев, 1957).

Креннерит— $(Au, Ag)Te_2$  или  $AuTe_2$ . Теоретический состав из формулы  $AuTe_2$ : Au—43,59, Te—56,41%; отношение Au:Ag достигает 2,7. При отношении Au:Ag=2,5 теоретический состав—Au—32,99, Ag—7,22, Te—57,79. Из элементов-примесей отмечаются железо и сурьма.

Установлен в рудах Каджаранского (А. С. Фармазян, 1958), Зодского, Меградзорского и Амзачиманского (Ш. О. Амирян, 1961) месторождений в ассоциации с галенитом, блеклой рудой, мелонитом, нагиагитом, алтаитом, колорадоитом, гесситом, золотом, сильванитом, калаверитом, теллуrowисмутитом и др. (рис. 24, 25).

В отраженном свете креннерит из Зодского месторождения кремово-белый. Отражательная способность для зеленых лучей 51, желтых—57, красных—59%. Слабо двуотражающий минерал. Заметно анизотропный (в светло-серых, желтовато-коричневых тонах). Рельеф ниже, чем у мелонита, калаверита, но выше, чем у алтаита, гессита, петцита. Спайность при хорошем освещении заметна в двух направлениях. Микро-твердость:  $H_{ср.-I}=36,7$  кг/мм<sup>2</sup>,  $H_{ср.-II}=62,5$  кг/мм<sup>2</sup>.

От  $HNO_3$  становится светло-коричневым, бурым, от  $HCl$ —слабо-желтым, от  $KOH$ —серо-бурым, коричневым. Микро-спектрально в изолированных выделениях минерала обна-

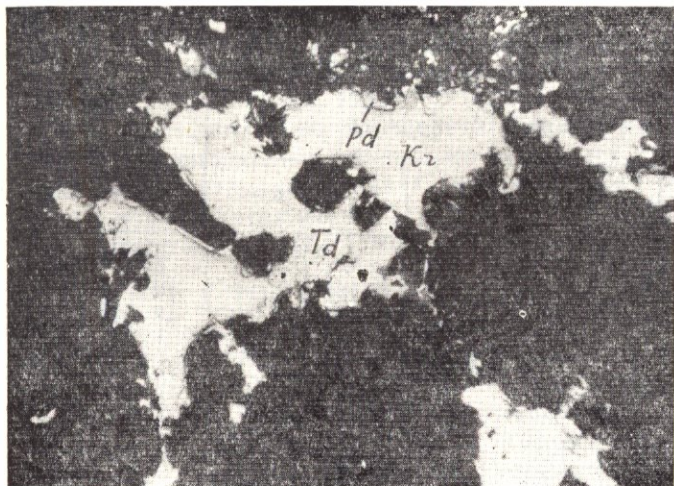


Рис. 24. Срастание креннерита (Kz) с тетрадимитом (Td) и полидимитом (Pd). Зодское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 100$ . По Ш. О. Амиряну.



Рис. 25. Выделение креннерита (Kz) в поле тетраэдрита (Td). Каджаранское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 350$ . По А. С. Фармазяну.

Межплоскостные расстояния креннерита из золоторудных  
месторождений Армянской ССР

1			2			3		
l	$d\alpha/n$	$d\beta/n$	l	$d\alpha/n$	$d\beta/n$	l	$d\alpha/n$	$d\beta/n$
1	3,94	3,57	3	(3,31)	3,00	6	(3,35)	3,03
4	(3,32)	3,01	2	(3,13)	2,84	10	2,91	2,63
10	3,02	(2,73)	10	2,97	(2,69)	10	2,07	1,86
5	2,94	2,66	7	2,88	(2,62)	1	(1,973)	1,781
4	(2,46)	2,23	1	2,33	2,11	1	(1,873)	1,691
4	(2,32)	2,11	2	(2,27)	2,05	10	1,781	1,607
9	2,23	(2,02)	3	2,21	2,00	8	1,700	1,534
9	2,11	(1,92)	9	2,09	(1,90)	2	1,626	1,407
5	2,06	1,87	4	2,06	1,855	2	1,541	1,391
1	2,02	1,83	6	2,023	(1,834)	6	(1,473)	1,329
6	1,963	1,78	2	(1,840)	1,668	6	1,355	1,223
2	1,916	1,737	7	1,771	1,605	8	1,322	1,193
7	1,780	1,614	4ш	1,690	(1,532)	8	1,207	1,089
6	1,690	1,531	5-6	1,514	1,372	6	1,141	1,030
7	1,520	1,378	3	1,474	1,336	4	1,048	0,945
2	1,501	1,361	2	1,431	1,297	6	1,003	0,905
6	1,474	1,336	2	1,397	1,266	8	0,989	0,893
6	1,404	1,273	4-5	1,345	1,219	6	0,937	0,846
6	1,354	1,227	4-5	1,315	1,192	5	0,895	0,807
3	1,331	1,206	3	1,267	1,148	4	0,857	0,773
5	1,317	1,193	1-2	1,234	1,128			
6	1,272	1,151	1раз.	1,215	1,101			
3	1,236	1,120	3раз.	1,201	1,099			
4	1,216	1,103	2	1,140	1,033			
5	1,202	1,090	1-2	1,122	1,017			
1	1,166	1,057	1раз.	1,086	0,985			
3	1,121	1,016	1раз.	1,053	0,955			
2	1,084	0,983	1раз.	1,020	0,924			
2	1,066	0,967						
3ш	1,050	0,952						
1ш	1,036	0,939						
3ш	1,020	0,924						

1. Ме. радзорское месторождение. Рентгенограмма выполнена в лаборатории ИГН АН Арм. ССР Э. Х. Хуршудян. Условия съемки:  $Fe_{\alpha\beta}$  — излучение; камера РКД—57,3;  $2\tau$ —0,5 мм;  $h$ —27 ч.

2. Зодское месторождение. Рентгенограмма выполнена в лаборатории ИГН АН Арм. ССР Э. Х. Хуршудян. Условия съемки:  $Fe_{\alpha\beta}$  — излучение; камера РКД—57,3; резиновый шарик;  $h$ —26 ч.

3. Амзачиманское месторождение. Рентгенограмма выполнена в лаборатории ИГН АН Арм. ССР Э. Х. Хуршудян. Условия съемки:  $Fe_{\alpha\beta}$  — излучение; камера РКД—57,3; резиновый шарик;  $h$ —14 ч.

ружены Au, Te, Ag, Bi, Hg. Микрoхимически определены Au, Ag, Te (Ш. О. Амирян, 1961).

Рентгенометрическими анализами (табл. 95) подтвержден креннерит из Зодского, Меградзорского и Амзачиманского месторождений (Ш. О. Амирян, 1968).

Сравнение рентгенограммы креннерита с таковыми эталона, калаверита и сильванита показывает, что в ней присутствуют фазы калаверита и сильванита (нередко также гессита и петцита). Это подтверждается тем, что в рудах указанные минералы тесно сростаются и отбирать их чисто на анализы невозможно.

Калаверит —  $AuTe_2$ . Теоретический состав: Au—43,59, Te—56,41%. Нередко часть золота замещается серебром.

Установлен в рудах Калерского (Б. М. Меликсетян и др., 1960), Анкаванского (А. И. Карапетян, 1961), медно-молибденовых, Зодского, Амзачиманского (Ш. О. Амирян, 1961, 1966) и Меградзорского (А. И. Карапетян, Ш. О. Амирян, 1963) золоторудных месторождений в ассоциации с галенитом, сфалеритом, пиритом, халькопиритом, блеклыми рудами, висмутином, алтаитом, золотом, гесситом (рис. 26), сильванитом, на-

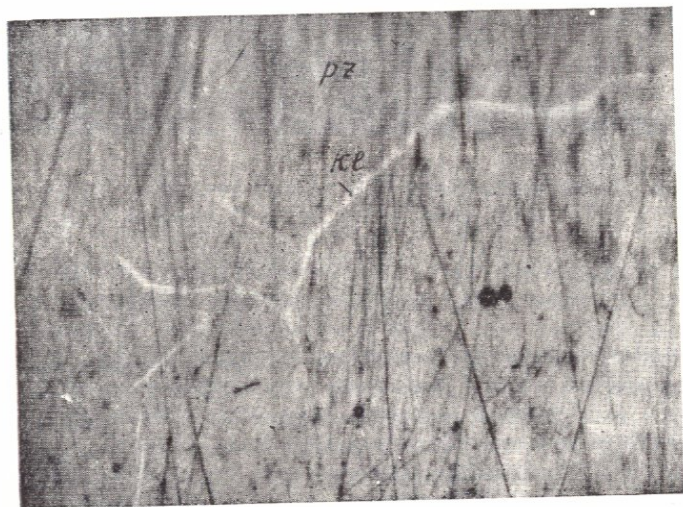


Рис. 26. Пластинчатые выделения калаверита (Kl) в полях петцита (Pz). Меградзорское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 100$ . По Ш. О. Амиряну и А. И. Карапетяну.

гиагитом, петцитом, мелонитом (рис. 27) и теллуrowисмутином; в полиметаллических рудах Шаумянской группы место-

рождений (В. О. Пароникян, 1963) в ассоциации с галенитом, сфалеритом, пиритом, халькопиритом и золотом.

Шире распространен в рудах золоторудных месторождений (Зод, Меградзор, Амзачиман), редко встречается в рудах колчеданных (Шаумян-Халадж) и медно-молибденовых месторождений (в поздних полиметаллических стадиях минерализации).



Рис. 27. Замещение мелонита (Ml) калаверитом (Kl). Черное—кварц. Полир. шлиф.  $\times 100$ . По Ш. О. Амиряну.

В отраженном свете характеризуется кремово-желтым цветом, по сравнению с пиритом светлый, сильванитом—более желто-кремовый (сильванит—белесоватый). Отражательная способность выше, чем у пирита, но ниже золота, приблизительно как у алтаита. Двухотражение слабое в воздухе, усиливается в иммерсии, особенно у зернистых агрегатов. Отчетливо анизотропный, на зернистых агрегатах сильно, с цветным эффектом от светло-кремово-желтого до темно-коричневого. Низкой твердости. Рельеф ниже, чем у золота, галенита, но выше, чем у гессита. Спайность наблюдается в одном направлении. Микротвердость  $H_{ср.-1} = 61,2$  кг/мм<sup>2</sup>,  $H_{ср.-11} = 92$  кг/мм<sup>2</sup> (Ш. О. Амирян, 1961).

От  $HNO_3$  образуется светло-коричневый налет, от  $FeCl_3$  становится коричневым. Микроспектральными анализами обнаружены: Au, Te (много), Ag, Bi, Pb, Sb (следы). В обогащенных калаверитом рудах спектральными анализами установлено более 3% теллура, золота и серебра.

Межплоскостные расстояния для калаверита из Зодского, Меградзорского и Амзачиманского золоторудных месторождений (Ш. О. Амирян, 1968) приводятся в табл. 96.

Таблица 96

Межплоскостные расстояния калаверита из золоторудных месторождений Армянской ССР

1			2				3		
l	$d\alpha/n$	$d\beta/n$	l	$d\alpha/n$	l	$d\alpha/n$	l	$d\alpha/n$	$d\beta/n$
5	3,30	2,00	2	3,748	8	1,203	9	3,03	2,73
10	2,98	2,70	6	3,370	7	1,137	10	2,87	2,59
5-6	2,90	2,62	2	3,249	1	1,106	9	2,05	1,858
4	2,32	2,10	10	2,916	1	1,094	8	1,881	1,697
4	2,21	2,01	5	2,294	6	1,045	8	1,762	1,590
8-9	2,09	1,90	9	2,072	7-8	1,00	6	1,692	1,527
3	2,056	1,864	2	1,961	7-8	0,986	7	1,610	1,453
3-4	1,963	1,780	1	1,877	7	0,936	3	1,541	1,391
4	1,905	1,727	9	1,768	3	0,903	6	1,466	1,323
4	1,686	1,528	7	1,701	7-6	0,893	7	1,348	1,217
6	1,515	1,374	4	1,477	2	0,877	9	1,315	1,187
4	1,471	1,333	2	1,458	4	0,859	3	1,232	1,112
2	1,404	1,273	7-6	1,353	7	0,830	6	1,202	1,085
3	1,353	1,227	8	1,318	7	0,822	5	1,136	1,025
2	1,330	1,205			7	0,792	4	1,100	0,992
3	1,314	1,192					2	1,046	0,914
3	1,268	1,149					5	1,003	0,905
3	1,233	1,117					6	0,986	0,890
4ш	1,216	1,102					5	0,937	0,845
5	1,200	1,089					4	0,912	0,823
							4	0,893	0,806
							3	0,854	0,771
							5	0,830	0,749
							5	0,823	0,742

1. Меградзорское месторождение. Рентгенограмма выполнена в лаборатории ИГН АН Арм. ССР Э. Х. Хуршудян. Условия съемки:  $Fe_{\alpha\beta}$  — излучение; камера РКД—57,3; резиновый шарик;  $h$ —34 ч.

2. Зодское месторождение. Рентгенограмма выполнена в лаборатории ИГН АН Арм. ССР Э. Х. Хуршудян. Условия съемки:  $Fe_{\alpha}$  — излучение; камера РКД—57,3; резиновый шарик;  $h$ —14 ч.

3. Амзачиманское месторождение. Рентгенограмма выполнена в лаборатории ИГН АН Арм. ССР Э. Х. Хуршудян. Условия съемки:  $Fe_{\alpha\beta}$  — излучение; камера РКД—57,3; резиновый шарик;  $h$ —14 ч.

Следует отметить, что рентгенографическому анализу подверглись шарики, высверленные под микроскопом (табл.

96), при этом преобладающей фазой в шарике был описанный минерал, но вместе с тем обычно с ним встречаются и другие, поэтому среди линий описанного минерала встречаются линии тесно срастающихся с ним минералов (креннерита, сильванита, петцита и гессита).

Сильванит — (Au, Ag) Te<sub>4</sub>. Теоретический состав (при Au:Ag=1:1): Au—24,19, Ag—13,22, Te—62,59%. Из элементов-примесей отмечаются: Bi, Hg, Se, Ni, Fe, S.

Установлен в рудах Калерского (Б. М. Меликсетян и др., 1960), Анкаванского (А. И. Карапетян, 1961), медно-молибденовых и Зодского, Амзачиманского (Ш. О. Амирян, 1961) и Меградзорского (А. И. Карапетян, Ш. О. Амирян, 1963) золоторудных месторождений.

Сильванит ассоциирует с галенитом, сфалеритом, халькопиритом, блеклой рудой, гесситом, алтаитом, калаверитом, золотом и другими сульфидами, сульфосолями и теллуридами. Встречается довольно часто. От группы креннерит-калаверита отчетливо отличается. В отраженном свете—кремово-белый. Отражательная способность составляет 43—60% для различных частей спектра и сечений. Отчетливо двуотражающий, что хорошо наблюдается на сдвойникованных зернах и в зернистых агрегатах, при этом хорошо выражен цветной эффект двуотражения—от светло-кремово-белого до темно-кремового, бело-коричневого. Сильно анизотропный с цветным эффектом от грязно-серо-коричневого до светло-серого, серо-белого. Твердость низкая. Рельеф выше гессита, петцита, калаверита, алтаита. Спайность наблюдается в двух направлениях. Для сильванита очень характерны полисинтетические двойники, которые наблюдаются даже на самых небольших выделениях (рис. 28). Микротвердость:  $H_{ср.-1} = 39,8$  кг/мм<sup>2</sup>;  $H_{ср.-II} = 48,4$  кг/мм<sup>2</sup>.

От HNO<sub>3</sub> (1:1) становится коричневым, от конц. HNO<sub>3</sub>—темно-серо-коричневым. От FeCl<sub>3</sub> приобретает светло-желто-бурую окраску. Травлением HNO<sub>3</sub> линии спайности становятся более четкими.

Микроспектральным анализом в изолированных выделениях установлены: Au, Ag и Te. Спектральным анализом в сильваните Меградзорского месторождения были определены Au, Ag, Te, Bi, Pb, Sb, As. Химическим анализом установлен следующий состав (%) сильванита из Меградзора (аналитик Ф. А. Ферьянчич): Au—24,25, Ag—12,70, Te—61,07, Se—1,30, Fe—0,71, As—0,015, S—0,08, Cu—0,002, Sb—0,03. Сумма—100,157.

Рентгенометрически подтвержден сильванит из месторождений Зод, Меградзор и Амзачиман (табл. 97).

Мелонит—NiTe<sub>2</sub>. Теоретический состав: Ni—18,70,

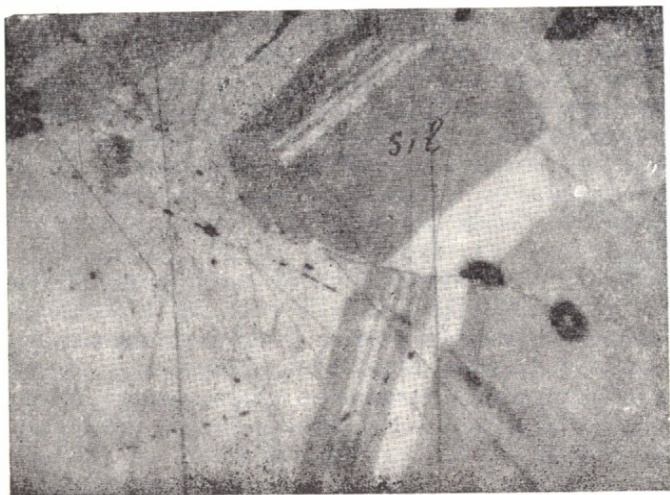


Рис. 28. Полисинтетические двойники сильванита (Sil). Черное—кварц. Меградзорское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 100$ . Ник. скрещены.  
По Ш. О. Амирян и А. И. Карапетяну.

Таблица 97

Межплоскостные расстояния сильванита из Меградзорского месторождения

Условия съемки:  $Fe_{\alpha\beta}$ ;  $h=25,5$  ч; камера  $2R=57,3$ ;  $2\epsilon=0,5$  мм

I	$d\alpha/n$	$d\beta/n$	I	$d\alpha/n$	$d\beta/u$
1	3,79	3,44	1	1,540	1,396
3	(3,34)	3,02	5	1,520	1,378
2	3,13	2,83	1	1,492	1,352
10	3,02	2,74	1	(1,462)	2,325
5	2,97	2,69	1	1,416	1,284
4	(2,46)	2,23	2	1,408	1,277
3	(2,37)	2,15	3	1,370	1,242
3	2,278	2,065	3	1,345	1,219
6	2,231	2,022	4	1,322	1,198
6	2,137	1,937	2ш	1,270	1,151
4	2,098	1,901	3	1,243	1,127
3	2,067	1,873	3	1,225	1,110
5	(1,970)	1,785	2	1,213	1,099
3	1,845	1,673	3	1,194	1,037
5	1,787	1,620	1	1,144	1,082
3	1,718	1,557	3ш	1,091	0,989
3	(1,673)	1,517	1	1,134	1,028
			3ш	1,084	0,982
			2ш	1,053	0,954

Te—81,30%. В качестве примеси отмечаются: Au, Ag, Bi, Co, Fe. Установлен в рудах Зодского золоторудного (Ш. О. Амирян, 1961) и Кафанского медноколчеданного (Е. Л. Афанасьева, А. К. Авгитов, 1963) месторождений. В рудах Зодского месторождения встречается часто, образуя листоватые агрегаты размером 0,05—0,5 см. Ассоциирует с теллуrowисмутитом, алтантом, креннеритом, калаверитом (рис. 27), герсдорфитом, пирротинном и другими минералами. На Кафанском месторождении ассоциирует с галенитом, сфалеритом, халькопиритом, алтантом, петцитом и блеклой рудой.

Макроскопически бронзового цвета, с сильно металлическим блеском. В отраженном свете светло-розовый, кремово-розовый. Отчетливо анизотропный (рис. 29) в светло-желтых, коричневых, фиолетовых тонах. Твердость низкая. Рельеф выше алтаита, гессита, калаверита, сильванита, теллуrowисмутита и тетрадимита. Спайность совершенная. Полируется хорошо, но по некоторым сечениям плохо. Микротвердость:  $H_{cp.-I} = 86,6 \text{ кг/мм}^2$ ,  $H_{cp.-II} = 161,0 \text{ кг/мм}^2$ .

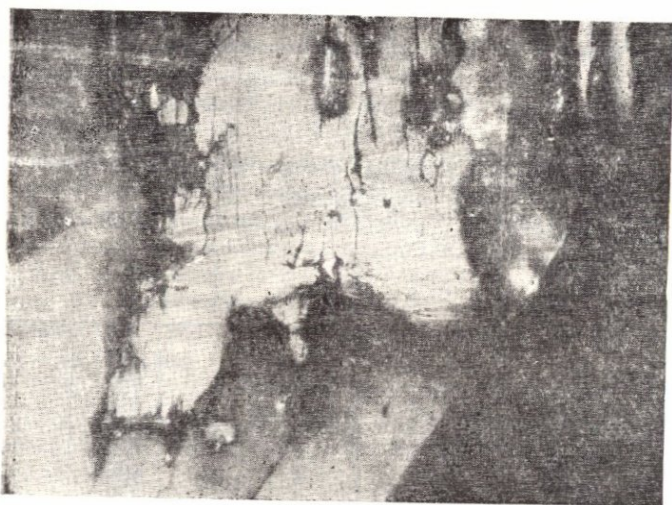


Рис. 29. Пластинчатые веретенообразные двойники мелонита. Зодское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 100$ . Ник. скрещены. По Ш. О. Амиряну.

Травится от  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{HCl}$ . Микрoхимия на Ni и Te положительна. Спектральным анализом в мелоните установлены: Ni, Te  $\gg 10\%$ , Au, Fe, Co, Sb, Bi, As—0,3—1%, Si, Mg, Ca, Pb—0,1—0,3%, Mn, Al, Ti, Cu, Ag, Zn—0,01—0,003%. Большая часть из отмеченных элементов представлена в виде

механических примесей. Химическим анализом (аналитик Т. Т. Авакян) в мелоните определены: Ni—77,4, Te—18,0%. Остальная часть составляет нерастворимый остаток и механические примеси других элементов, определенные спектральным анализом (приводятся выше).

Рентгенометрически подтвержден (табл. 98) мелонит из Зодского месторождения (аналитик Э. Х. Хуршудян).

Таблица 98

Межплоскостные расстояния мелонита из Зодского месторождения  
(Ш. О. Амирян, 1961)

Условия съемки: Fe<sub>0,5</sub>; экспозиция 8 ч; D=57,3; 2r=0,5 мм

l	dz/n	d <sub>3</sub> /n	l	dz/n	d <sub>3</sub> /n
1	5,14	4,66	3	1,409	1,277
1	(3,08)	2,79	1	1,348	1,222
3	(2,855)	2,588	1	(1,328)	1,203
9	2,787	(2,526)	7	(1,314)	1,192
10	2,598	(2,355)	5	1,226	1,111
5	(2,259)	2,047	6	1,209	(1,096)
10	2,053	(1,861)	7	1,195	(1,083)
5	1,917	1,737	3-4	1,140	1,033
2	1,750	1,586	2	1,127	1,022
6-7	(1,703)	1,544	1	1,113	1,009
5	1,581	1,433	2	1,105	1,002
10	1,545	(1,400)	1ш	1,085	0,984
2	1,447	1,341	8ш	1,023	0,927
			8ш	1,004	0,909

### 3. Сульфосоли

Полибазит-пирсеит — (Ag, Cu)<sub>16</sub>Sb<sub>2</sub>S<sub>11</sub> и (Ag, Cu)<sub>16</sub>As<sub>2</sub>S<sub>11</sub>. Теоретический состав при Ag:Cu=10:1; а) полибазита—Ag—69,47, Sb—10,82, S—15,61; примеси: Fe—до 0,41, Zn—до 0,34, Pb—до 2,41, Bi—до 0,80%. Сурьма может замещаться мышьяком от 0,5 до 3,74%; б) пирсеита—Cu—4,20, Ag—72,49, As—6,92, S—16,30. Примеси: Fe—до 1,05, Zn—до 2,81; As замещается Sb—до 0,43% («Минералы», т. I, 1960).

По П. Рамдору (1962) эти минералы под микроскопом трудно отличимы друг от друга. Установлены в борнит-теннантитовых рудах Ахтальского месторождения (В. О. Пароникиан, 1962) в тесном сростании со стефанитом, самородным серебром и блеклой рудой. Величина отдельных таблитчатых выделений доходит до 0,01 мм в поперечном сечении. Мелкие выделения пирсеита в полиметаллических рудах Каджарана и Аткиза установлены в ассоциации с галенитом, тетраэдритом,

самородным серебром и халькопиритом (Г. О. Пиджян, А. И. Карапетян).

Полируется плохо. Относительный рельеф ниже, чем у стефанита и примерно равен галениту. Микротвердость—64 кг/мм<sup>2</sup>. Цвет минерала в отраженном свете белый с нежно-зеленоватым оттенком. Отражательная способность заметно ниже, чем у галенита. Двухотражение слабое, усиливается в масле; заметно анизотропный. Внутренние рефлексии не наблюдались.

Стефанит —  $\text{Ag}_5\text{SbS}_4$ . Теоретический состав: Ag—68,33, Sb—15,42, S—16,25%. Установлен в борнитовых рудах Ахтальского месторождения и в составе руд сульфоантимонитовой стадии минерализации Азатекского месторождения (В. О. Пароникян, 1962). Стефанит присутствует также в рудах Гюмушханского месторождения (Н. С. Хачатрян, Б. Д. Акопян). В рудах Ахтальского месторождения встречается очень редко удлиненными, оваловидными и каплевидными выделениями размером до 0,1—0,2 мм в длину. Часто приурочен к блеклой руде (рис. 30) или же образует тонкие каемки вокруг нее в

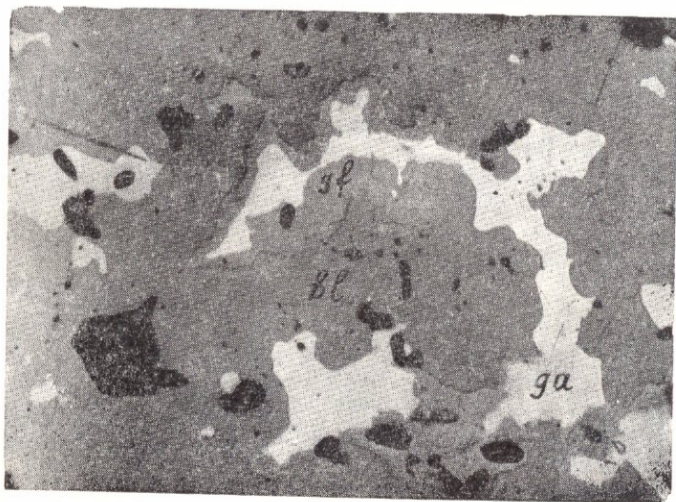


Рис. 30. Каемка стефанита (Sf) вокруг галенита (ga) в полях блеклой руды (bl). Ахтальское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 160$ . По В. О. Пароникяну.

полях штроемерита. В отраженном свеге—серо-белый с нежно-розовым оттенком. Отражательная способность для оранжевых лучей по четырем измерениям составляет 31%. Кри-

вая дисперсии отражательной способности характеризуется максимумом в фиолетовой части спектра.

Полируется хорошо. Относительный рельеф ниже, чем у халькопирита, немного выше галенита и заметно выше штро-мейерита. Микротвердость варьирует в пределах 98—138 кг/мм<sup>2</sup> и по трем измерениям составляет ~114 кг/мм<sup>2</sup>. Двухотражение в воздухе слабое, заметно усиливается в масле с цветным эффектом: светло-серый и серый с нежно-розовым оттенком. Умеренно анизотропный; цветные оттенки в диагональных положениях зерен: темно-серо-белый и темно-фиолетово-розовый. Внутренние рефлексы отсутствуют. Микроспектральные анализы, произведенные на зернах стефанита из Ахталского месторождения, показали много Ag и Sb.

**Пираргирит**—Ag<sub>3</sub>SbS<sub>3</sub>. Теоретический состав: Ag—59,76, Sb—22,48, S—17,76%. Присутствуют небольшие примеси As, а также Fe, Co и Pb. В рудах Азатекского месторождения отмечен Э. А. Сагателян (1961) и В. О. Пароникяном (1964). Единичное зерно пираргирита приурочено к бурнониту на границе с галенитом. Относительный рельеф ниже, чем у бурнонита и немного выше галенита. Цвет синева-серый. Отражательная способность визуальна немного выше бурнонита. Двухотражение в воздухе слабое, усиливается в масле. Отчетливо анизотропный с цветным эффектом в диагональных положениях пластинки: сине-серый и темно-коричневый. Темно-красные внутренние рефлексы в воздухе проявляются без скрещенных николей.

**Виттихенит**—Cu<sub>3</sub>BiS<sub>3</sub> (медно-висмутовая руда). Теоретический химический состав: Cu—38,46, Bi—42,15, S—19,39%. В виде примесей содержит As, Sb, Ag, Zn, Co. Виттихенит является распространенным минералом в медно-молибденовых месторождениях и сравнительно редко встречается в полиметаллических и серноколчеданных рудах. Установлен в рудах следующих месторождений: Каджаранского (З. В. Рупасова), Дастакертского, Шамлугского (И. Г. Магакьян, 1947), Джиндаринского (К. А. Карамян), Тандзутского (Э. А. Хачатурян, 1956), Агаражского и Айгедзорского (Г. О. Пиджян), Анкаванского (А. И. Карапетян, 1961), Каялинского (В. О. Пароникян, 1962), Меградзорского (Ш. О. Амирян, А. И. Карапетян, 1964) и Личкваского (Ш. О. Амирян, 1966).

В медно-молибденовых месторождениях виттихенит встречается в рудах кварц-халькопирит-молибденитовой и в особенности кварц-халькопиритовой и медно-мышьяковой стадий минерализации. Тесно ассоциирует с халькопиритом (рис. 31), висмутином, эмплектитом, теннантитом (рис. 32), борнитом и представлен в виде неправильных выделений, большей частью окаймляющих и замещающих висмутин, эмплектит,

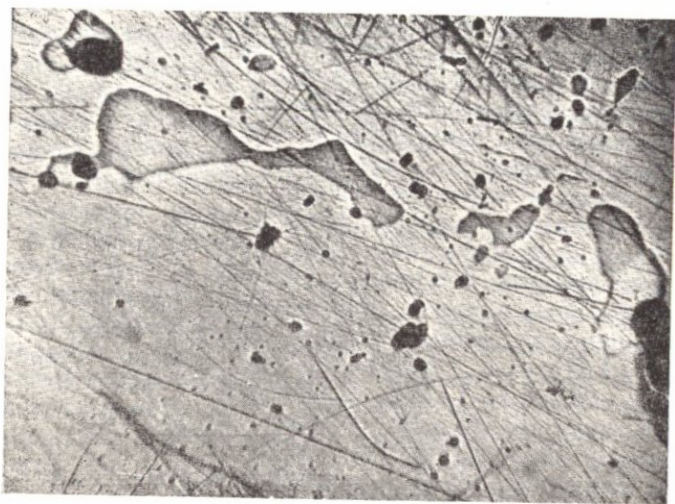


Рис. 31. Выделение виттихенита (темно-серое), висмутина (серовато-белое) в халькопирите (серое). Дастакертское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 120$ . По Г. О. Пиджяну.

халькопирит, борнит и теннантит. На Анкаванском месторождении в рудах медно-мышьяковой стадии минерализации виттихенит выделяется в полях борнита (рис. 33, 34), халькопирита, халькозина, энаргита, теннантита в тесной ассоциации с теллуридами и самородным золотом. На Шамлугском месторождении встречается в ассоциации с борнитом, галенитом, сфалеритом, теннантитом и самородным золотом. В рудах Каялинского месторождения (участок Гегарчин) выделяется в полях галенита в тесной ассоциации с эмплектитом, а иногда образует каемку вокруг козалита на границе зерен теннантита и халькопирита. В последнем случае отмечается следующий закономерный переход: козалит-айкинит-эмплектит-виттихенит и далее халькопирит или теннантит (В. О. Пароникян, 1962). На Тандзутском месторождении виттихенит выделяется в ассоциации с пиритом и халькопиритом.

В отраженном свете — серовато-белый с отчетливым коричневатым оттенком. Отражательная способность по сравнению с теннантитом несколько выше. Измерение отражательной способности виттихенита из Дастакертского месторождения на установке с фотоумножителем показало следующие значения в процентах: для зеленых лучей—33, оранжевых—29 и красных—27% (Г. О. Пиджян). Эффекты анизотропии при

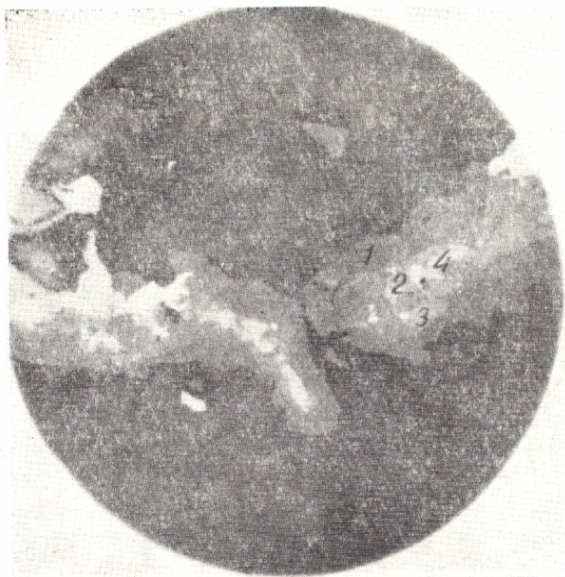


Рис. 32. Метасоматические каемки блеклой руды (1), виттихенита (2), эмплектита (3) вокруг висмутина (4). Каджаранское месторождение. Полир. шлиф (иммерсия).  $\times 915$ . По А. С. Фарамазяну.



Рис. 33. Развитие виттихенита (белое) по определенным кристаллографическим направлениям борнита (общее поле). Анкаванское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 365$ . По А. И. Карапетяну.

скрещенных николях в воздухе и в иммерсии ясно заметны. Для виттихенита из Анкавана отмечается слабый цветной эффект в фиолетово-серых и серовато-коричневых тонах. Двухотражение слабое и заметное лишь в иммерсии. Рельеф ниже



Рис. 34. Развитие виттихенита (белое) по определенному кристаллографическому направлению в борните (общее поле). Анкаванское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 365$ . По А. И. Карапетяну.

халькопирита. Микротвердость 180—195 кг/мм<sup>2</sup>. Полируется хорошо. Внутренние рефлексии отсутствуют. При действии конц.  $\text{HNO}_3$  буреет, другие стандартные реактивы не действуют. Микрохимической реакцией в минерале установлен висмут, а микроспектральным анализом получены сильные линии висмута.

Виттихенит из Дастакертского (Г. О. Пиджян) и Анкаванского (А. И. Карапетян) месторождений подтвержден рентгенометрическим анализом (табл. 99). Анализ произведен в минераграфической лаборатории ИГЕМ Г. В. Басовой. Условия съемки—Fe-излучение, камера РКД ( $2R=57,3$  мм),  $d=0,3$  мм, экспозиция 5 ч.

В связи с тем, что виттихенит тесно ассоциирует в рудах Дастакерта с халькопиритом и развит в его полях, в дебаеграмме отмечается фаза халькопирита слабой интенсивности.

Сопоставление межплоскостных расстояний виттихенита из Дастакерта с эталоном виттихенита из месторождения Виттихен, Баден (В. И. Михеев, 1957) показало только частичное совпадение. Рентгенометрические данные виттихенита из Дас-

Межплоскостные расстояния виттихенита из Дастакертского месторождения

l	d $\alpha$ /n	l	d $\alpha$ /n	l	d $\alpha$ /n
1	3,90	1	2,40	5	1,599
4	(3,37)	2	(2,06)	2	1,585*
1	3,20	2	2,01	1	1,325*
10	3,05	8	1,859	3	1,205*
4	2,87	7	1,778	3	1,077*
3	2,66	2	1,692	2	1,069

\* Межплоскостные расстояния халькопирита.

такерта близки к дебаеграмме виттихенита по Нуффилду: (4) 4,54, (8) 3,07, (10) 2,84, (4) 2,65 (П. Рамдор, 1962).

Германит —  $\text{Cu}_3(\text{Fe, Ge})\text{S}_4$  или  $\text{Cu}_3(\text{Fe, Ge, Zn, Ga})(\text{S, As})_4$ . В составе минерала отношение Fe:Ge близко к 1:1, содержание железа колеблется от 4,56 до 8,39%, германия от 8,7 до 10,96 и галлия от 0,76 до 1,85%.

Германит или его разновидности в виде аксессуарного минерала был установлен и описан в рудах Дастакертского (К. А. Карамян, 1958), Анкаванского (Г. О. Пиджян), Ахтальского и Кафанского (А. И. Карапетян, 1962, 1963) месторождений. Детальное изучение и сравнительная характеристика германита из всех этих месторождений позволили А. И. Карапетяну выявить ряд индивидуальных особенностей у германита из каждого из этих месторождений, которые не позволяют считать их полными аналогами и поэтому целесообразно рассмотреть их отдельно.

Германит из Дастакертского месторождения, согласно описанию К. А. Карамяна (1958), в отраженном свете имеет густо-розовый цвет, отражательная способность колеблется между энаргитом и борнитом. Изотропный.

По наблюдениям А. И. Карапетяна минерал характеризуется фиолетово-серым цветом, умеренной отражательной способностью ( $R=28,5\%$ ,  $>R$  энаргита и  $R$  теннантита). По своим оптическим свойствам минерал приближается ко второй разновидности тсумбского германита (И. С. Волинский, Л. А. Логинова, 1961). Рентгеноспектральный анализ, выполненный на его выделениях, показал 1,7% германита, что значительно меньше, чем в тсумбском германите (Склар и Гейер, 1957). Но если учесть, что в разновидностях германита содержание германия колеблется в значительных пределах, мож-

но предполагать, что описанный минерал является своеобразной разновидностью германита.

*Германит из Анкаванского месторождения*, согласно описанию Г. О. Пиджяна, характеризуется оранжево-розовым цветом, иногда со слабым фиолетовым оттенком.

Минерал, напоминающий разновидность тсумбского германита, встречен в медно-мышьяковых рудах, где он характеризуется розовато-серым цветом с фиолетовым оттенком. Отличается от борнита отсутствием коричневого оттенка. Минерал похож на энаргит, но отличается более густой окраской. Цвет отдельных выделений неоднородный, в пределах даже одного и того же индивида переходит от бронзово-серого с розовым оттенком до розовато-серого со слабым фиолетовым оттенком. Изменение цвета сопровождается изменением отражательной способности, которая колеблется от 24 до 27,5%. Микротвердость составляет от 232 до 386 кг/мм<sup>2</sup>, что значительно больше, чем микротвердость борнита. Принадлежность минерала к группе германита, кроме описанных свойств, основана также на данных локального рентгеноспектрального анализа, согласно которым содержание германия в минерале колеблется от 4,82 до 5,65%. Образует бесформенные, реже изометрические выделения, размерами, не превышающими тысячные доли миллиметра. Характерны структуры замещения с теннантитом (рис. 35), халькопиритом, борнитом, реже энар-

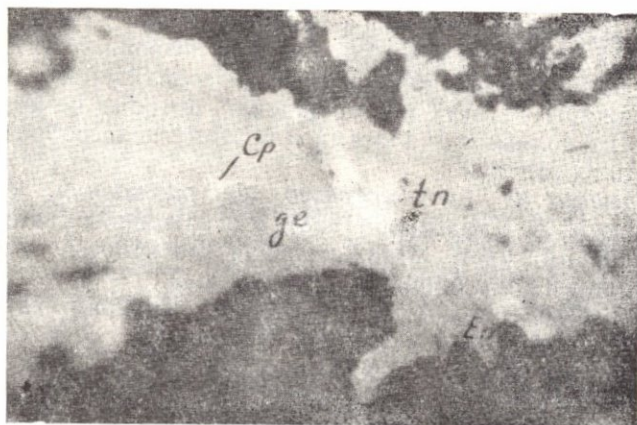


Рис. 35. Германит (ge) образует структуры замещения с теннантитом (Тн). На контакте между ними образуется халькопирит (Ср). Здесь же энаргит (Ен). Анкаванское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 500$  (иммерсия). По А. И. Карапетяну.

гитом. В результате местами образуется халькопирит или тонкая реакционная каемка, представляющая собой исключительно тонкую смесь германита и халькопирита. По этой кайме германит постепенно переходит в халькопирит (рис. 36). Иногда германит образует изометрические выделения с контурами идиоморфных кристаллов в виде треугольников и квадратов.

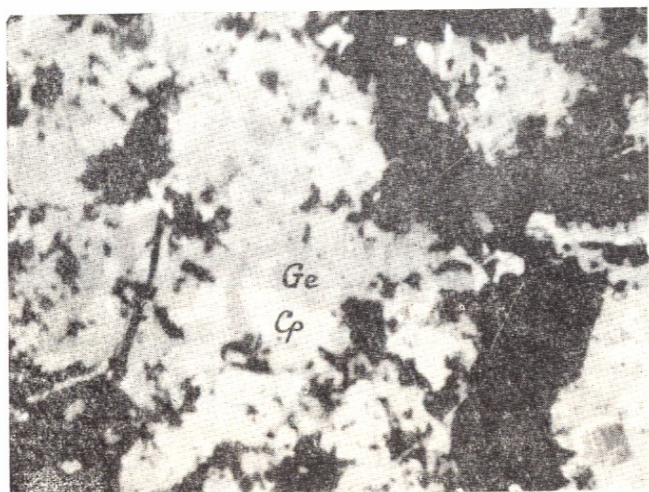


Рис. 36. Германит (Ge) образует постепенные переходы с халькопиритом (Cp). Анкванское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 500$  (иммерсия). По А. И. Карапетяну.

*Германит из Ахтальского месторождения* в виде округлых выделений размером в тысячные, реже сотые доли миллиметра—рассеян в полях борнита, халькопирита, пирита, реньерита, блеклой руды, халькозина и штрмейерита (рис. 37). Принадлежность минерала к группе германита основана на следующих его оптических свойствах: в отраженном свете темнее реньерита, но едва заметно светлее теннантита. По сравнению с реньеритом минерал лишен оранжевого цвета и в окраске его преобладает коричневато-фиолетовый оттенок, чем он отличается от блеклой руды. По сравнению с борнитом—белесый. Изотропный. Результаты измерений отражательной способности (табл. 100, рис. 38) показывают, что описываемый минерал по характеру дисперсии отражательной способности идентичен второй разновидности тсумбского германита, отличаясь от нее лишь несколько меньшими значениями R. Исхо-

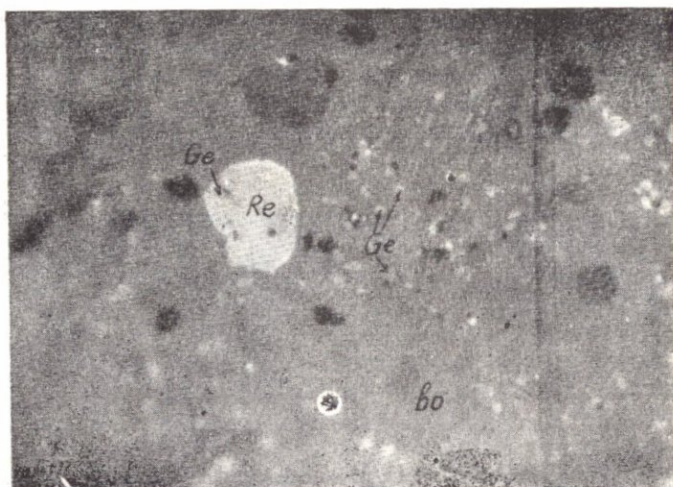


Рис. 37. Германит (Ge) образует тонкую вкрапленность в полях борнита (bo) и реньерита (Re). Ахталское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 500$  (иммерсия). По А. И. Карапетяну.

Таблица 100

Дисперсия отражательной способности ахталского германита

$\lambda$ , мкм		443	465	493	525	557	590	617	650	671	704
R %	Воздух	25,3	26	27	28,1	28,8	29,1	29	28,6	27,7	26,6
	Иммерсия	11,7	12,1	13	14	15,2	16,5	16,1	15,8	15,3	14,6

дя из всего этого, можно предполагать, что рассматриваемый минерал является своеобразной разновидностью германита. Такое предположение обосновывается также следующими фактами: твердость и относительный рельеф описываемого минерала выше таковых реньерита и незначительно ниже теннантита. Микротвердость составляет  $228 \text{ кг/мм}^2$ , что соответствует 4,3 по шкале Мооса. И, наконец, что очень важно, он часто находится в совместных зональных образованиях с реньеритом. Детальное микроскопическое изучение проанализированных борнитов показывает, что в тех случаях, когда в борните содержание германия достигает тысячных и более долей процента, в полях его присутствуют мельчайшие включения (размерами в тысячные доли миллиметра) германита или реньерита.

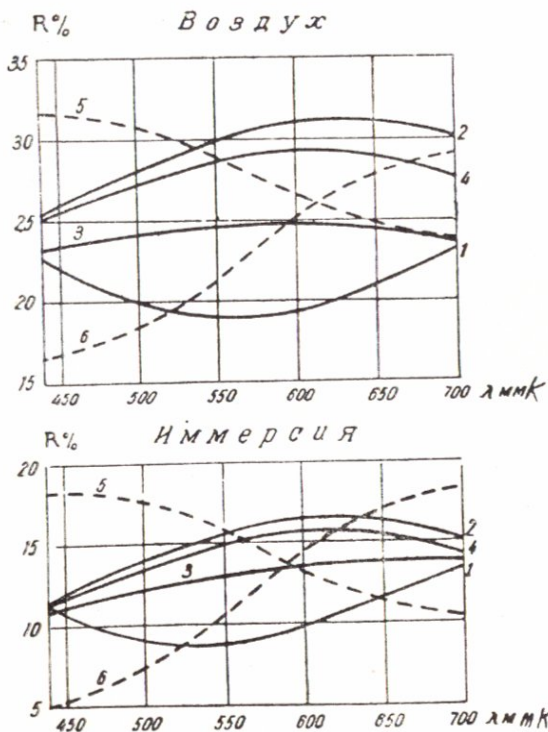


Рис. 38. Кривые дисперсии отражательной способности ахтальского германита (4) в сравнении с разновидностями теумбского германита (1—3), борнитом (6), теннантитом (5). По А. И. Карапетяну.

Германит из Кафанского месторождения в отраженном свете характеризуется светло-фиолетовым цветом со слабым розовато-желтым оттенком. По освещенности он уступает реньериту, но отчетливо светлее борнита. Отражательная способность в белом свете составляет  $\sim 29\%$ . Разница между отражательной способностью германита и теннантита незначительная (германит едва заметно светлее), тем не менее их можно отличить на приведенных микрофотоснимках (рис. 39), так как разница между ними скорее качественная, чем количественная.

Измерение дисперсии отражательной способности кафанского германита (табл. 101, рис. 40) позволяет в качестве индивидуальных особенностей отметить совокупность трех точек на кривой дисперсии его отражательной способности: в сине-фиолетовой части спектра заметно светлее борнита и

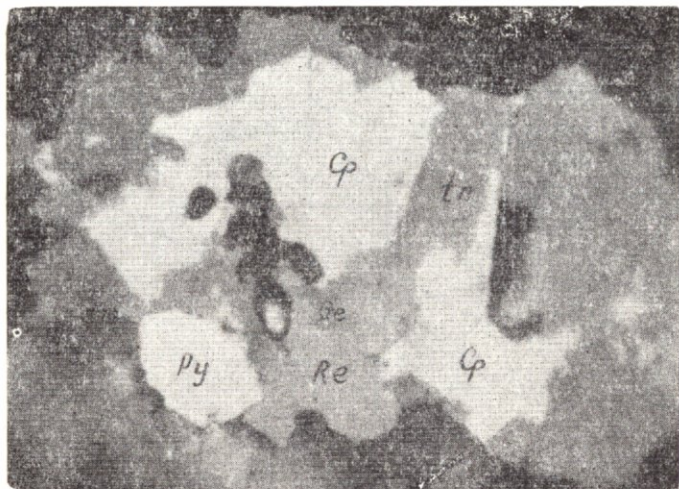


Рис. 39. Реликты германита (Ge) в полях реньерита (Re). Ассоциация халькопирит (Sp), теннантит (tn), пирит (Py), кварц—черное поле. Кафанское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 500$  (иммерсия). По А. И. Карапетяну.

Таблица 101

Дисперсия отражательной способности кафанского германита

$\lambda$ , мкм	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660
R, %	25,3	25,5	26,5	27,7	28,1	29,0	29,5	29,7	30,0	30,0	29,6	29,0

реньерита, в зеленой части спектра ( $\lambda = 560$  мкм) минерал по освещенности уравнивается с теннантитом и реньеритом и значительно светлее борнита. В длинноволновой части спектра ( $\lambda = 600$  мкм) германит статочно светлее теннантита, но темнее реньерита.

Изотропен, по твердости и относительному рельефу занимает промежуточное место между реньеритом и теннантитом. Микротвердость в среднем составляет  $228 \text{ кг/мм}^2$ , или 4,3 по шкале Мооса.

Сопоставление вышеизложенных данных с таковыми германита из месторождения Тсумеб показывает, что описываемый минерал по своей отражательной способности идентичен третьей разновидности тсумебского германита, а по характеру

дисперсии и отражательной способности, следовательно и по цвету, он является промежуточным между второй и третьей разновидностями тсумбского германита. Эти данные, а также локальный рентгеноспектральный анализ, выполненный на отдельных выделениях описываемого минерала, позволили его считать своеобразной разновидностью германита.

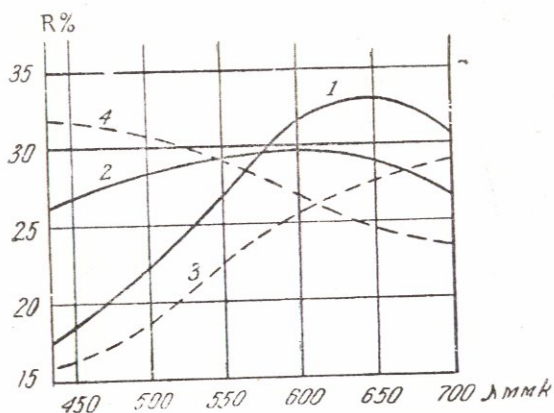


Рис. 40. Кривые дисперсии отражательной способности кафанского реньерита (1) и германита (2) в сравнении с борнитом (3) и теннантитом (4). По А. И. Карапетяну.

Описанный минерал установлен в полях реньерита в виде изометрических выделений, размерами, не превышающими сотые доли миллиметра. Нередко германит образует выделения с контурами идиоморфных кристаллов в виде квадратов со срезанными углами (рис. 41).

Реньерит —  $(\text{Cu, Fe, Ge, Zn})\text{S}$  по П. Рамдору (1962),  $(\text{Cu, Fe})_3(\text{Fe, Ge})\text{S}_4$  по О. М. Шубниковой и  $(\text{Cu, Fe, Ge, Zn, As, Sn})\text{S}$  по Вайесу. Ламбот (1950), желая подчеркнуть близость реньерита с другими минералами тексатетраэдрического класса, предлагает другую формулу  $(\text{Cu, Fe})_3(\text{Fe, Ge, Sn, Zn})(\text{S, As})_4$ , Штрунц и Гейер (1958) считают, что в формулу реньерита входит также галлий.

Реньерит или его разновидности в виде аксессуарного минерала установлены и описаны в рудах Дастакертского медно-молибденового (К. А. Карамян, 1958), Кафанского медно-колчеданного (Э. А. Хачатурян, 1958), Анкаванского медно-молибденового (Г. О. Пиджян, 1960), Ахталского полиметаллического (Э. А. Хачатурян, А. А. Коджоян, 1960) месторождений. Сравнительное изучение реньерита из отмеченных месторождений позволило А. И. Карапетяну выявить значительные различия как в их оптических свойствах, так и в хи-

мическом составе. Кроме того выяснилось, что ни один из описанных минералов не является полным аналогом тсумбского реньерита и поэтому ниже приводится описание минерала из каждого месторождения в отдельности.

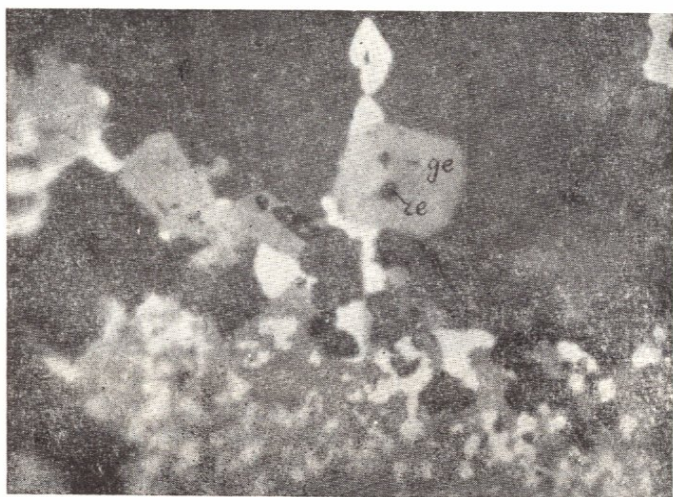


Рис. 41. Кристаллическое выделение германита (ge) частично замещенного реньеритом (re). При этом реньерит развивается исключительно по германиту. Кафанское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 500$  (иммерсия). По А. И. Карапетяну.

*Реньерит из Дастакертского месторождения*, согласно описанию К. А. Карамяна, характеризуется желтовато-коричневым цветом. Отличается от халькопирита меньшей отражательной способностью и более тусклым блеском. Сильно анизотропен, двуотражение отчетливое в желтовато-коричневых тонах.

В медно-мышьяковых рудах Дастакертского месторождения были встречены изометрические выделения оранжево-коричневого минерала, размерами не более 15—20 мк. Отличается от описанного К. А. Карамяном реньерита слабыми эффектами двуотражения и анизотропии. Отражательная способность выше энаргита, но ниже халькопирита ( $R=32\%$ ). Двуотражение очень слабое, оно заметно только в иммерсии. Анизотропия отчетливая, но не сильная. Рельеф выше борнита, но ниже энаргита и блеклой руды. Рентгеноспектральный анализ показал почти вдвое меньше германия, чем в тсумбском реньерите. Сопоставление минерала с тсумбским реньеритом показывает, что он по своему цвету является как бы

промежуточным между реньеритом и борнитом. Иначе говоря, минерал как по содержанию германия, так и по цвету в отраженном свете является промежуточным между борнитом и реньеритом, что дает основание считать его своеобразной разновидностью реньерита.

*Реньерит из Кафанского месторождения*, согласно описанию Э. А. Хачатуряна, характеризуется сильным двуотражением и анизотропией, цвет в отраженном свете оранжевый со слабым коричневатым оттенком. Отражательная способность порядка 30%.



Рис. 42. Германит (Ge) в ассоциации с реньеритом (Re), теннантитом (tn), борнитом (bo), халькопиритом (Cp) и сфалеритом (Sl). Кафанское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 1000$  (иммерсия). По А. И. Карапетяну.

Минерал, по своим оптическим свойствам, имеющий сходство с тсумевским реньеритом, установлен в виде микроскопических включений в полях теннантита, реже борнита, энаргита, сфалерита. Размеры отдельных выделений иногда достигают десятых долей миллиметра (рис. 42). Контуры выделений минерала в большинстве случаев оваловидные, нередко встречаются и включения с контурами идиоморфных кристаллов в виде треугольников со срезанными углами.

В отраженном свете минерал светло-коричневый со слабым желтоватым или бронзовым оттенком, цвет промежуточный между борнитом и халькопиритом. Отражательная спо-

способность в белом свете 32,5%. Он светлее борнита, но значительно темнее халькопирита. Характер дисперсии отражательной способности (табл. 102, рис. 40) свидетельствует о его коричневато-желтом цвете.

Таблица 102

Дисперсия отражательной способности реньерита

$\lambda$ , мкм	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660
R, %	17,3	19,3	22,5	23,6	24,6	27	29	31,5	32,4	32,6	32,8	32,5

Двуотражение минерала слабое, оно отчетливо распознается только в иммерсии. Анизотропия слабая, на зернистых агрегатах отчетливая, но без цветного эффекта. Микротвердость 182 кг/мм<sup>2</sup>.

Рентгеноструктурный анализ описываемого минерала (табл. 103) показал идентичность его структуры с таковой реньерита из Тсумевского месторождения.

Таблица 103

Межплоскостные расстояния и относительные интенсивности реньерита из Кафанского месторождения\*

l	d $\alpha$ /n	l	d $\alpha$ /n
10	3,05	3	1,077
9	1,86	3	1,014
6	1,586	1	0,889
1	1,322	1	0,832
1	1,208		

\* Условия съемки: излучение Cu—Ni; камера РКД (2R=57,3), экспозиция 8 ч.; препарат—шарик (аналитик Э. Х. Хуршудян).

Результаты микроскопического и рентгенометрического исследований подтверждаются спектральными анализами минералов-носителей реньерита (теннантит, борнит, сфалерит), которые показывают резко повышенные содержания германия по сравнению с теми пробами этих минералов, в которых не были установлены включения реньерита.

И. С. Волынский и Л. А. Логинова (1961) в рудах Кафанского месторождения в ассоциации с реньеритом отмечают и идаит—CuFeS<sub>6</sub>, который в отраженном свете приближается

к реньериту, отличаясь от него сильно выраженным двуотражением и анизотропией. По своим оптическим свойствам идаит идентичен оранж-борниту, который А. Д. Каленов и др. (1963) предлагают называть германийсодержащим борнитом. Оранжево-коричневый борнит в свежееотполированных шлифах встречен в рудах почти всех изученных месторождений, но ни в одном из них борнит не обладал хотя бы отчетливо заметной анизотропией, поэтому кажется, что сильно анизотропные, богатые германием выделения оранжево-коричневого минерала правильнее назвать не оранж-борнитом или германийсодержащим борнитом, а германийсодержащим идаитом, в котором часть катионов двухвалентного железа замещена германием.

*Реньерит из Анкаванского месторождения*, согласно описанию Г. О. Пиджяна, характеризуется светло-оранжевым цветом, иногда с коричневатым оттенком. Отражательная способность близка к таковой теннантита. Минерал сильно анизотропный с цветным эффектом от оранжево-коричневого до голубовато-серого.

В медно-мышьяковых рудах Анкаванского месторождения в полях борнита нами были встречены включения коричневатого-розового минерала с умеренной отражательной способностью и анизотропией. Сопоставление минерала с реньеритом из Тсумеба показало, что он имеет определенные индивидуальные особенности, выраженные, в частности, коричневатым цветом (у тсумебского реньерита коричневатого-оранжевый цвет) и более низкой отражательной способностью. Минерал имеет определенное сходство с энаргитом, от которого, однако, отличается более слабыми эффектами анизотропии.

*Реньерит из Ахтальского месторождения* представлен округленными выделениями, приуроченными к полям борнита, теннантита, халькопирита, пирита, реже галенита, халькозина, штрмейерита (рис. 43, 44). Часто он образует совместные зональные образования с германитом и халькопиритом. Последний развивается в виде каемки вокруг реньерита только в полях борнита и закономерно отсутствует в полях теннантита и других минералов (рис. 45, 46). Нередко реньерит образует идиоморфные выделения с контурами идиоморфных кристаллов в виде треугольников или шестиугольников (рис. 47). Размеры отдельных выделений колеблются в пределах от тысячных долей миллиметра до 0,1 мм. Полируется хорошо, микротвердость в среднем по нескольким измерениям составляет 182 кг/мм<sup>2</sup>, что соответствует 5 по шкале Мооса. Цвет минерала в отраженном свете промежуточный между борнитом и халькопиритом. По сравнению с халькопи-

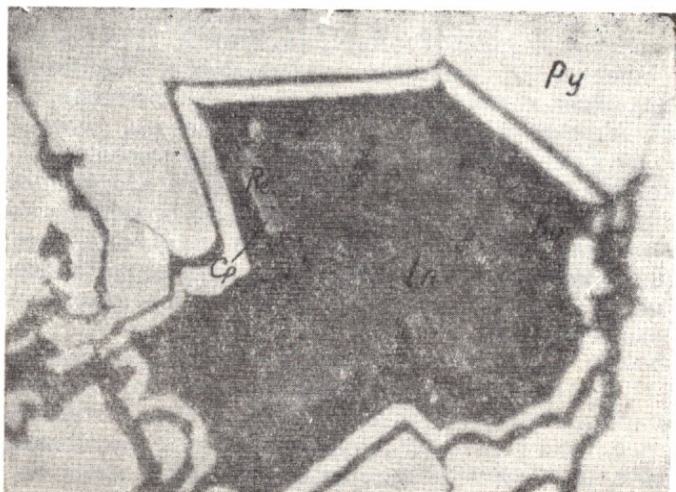


Рис. 43. Пирит (Py) замещается борнитом (bo), который окаймляет теннантит (tn). На контакте теннантита с борнитом реньерит (Re) окаймляется халькопиритом (Cp). Ахталское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 500$  (иммерсия). По А. И. Карапетяну.

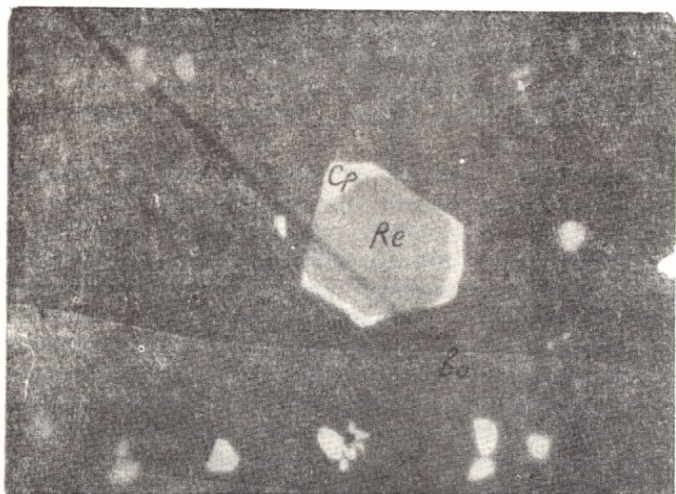


Рис. 44. Шестиугольник реньерита (Re) окаймлен халькопиритом (Cp) в полях борнита. Ахталское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 500$  (иммерсия). По А. И. Карапетяну.

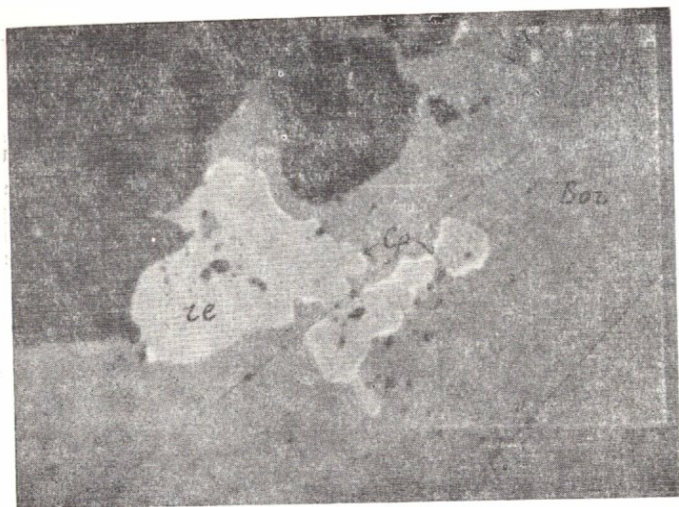


Рис. 45. Реньерит (re) окаймляется халькопиритом (Ср), который отсутствует там, где реньерит контактирует с кварцем (черное). Общее поле борнита (Boz). Ахталское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 500$  (иммерсия). По А. И. Карапетяну.

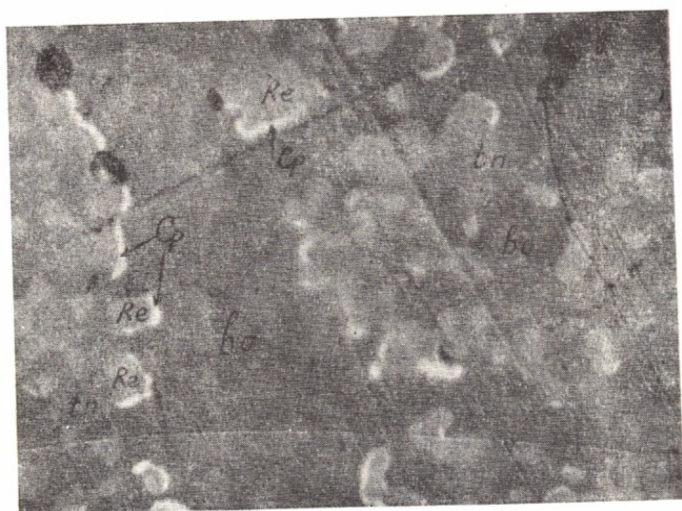


Рис. 46. Каемки халькопирита (Ср), развитые на контактах зерен реньерита (Re) и борнита (Bo), отсутствующие на контакте с теннантитом (Tn). Ахталское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 500$  (иммерсия). По А. И. Карапетяну.

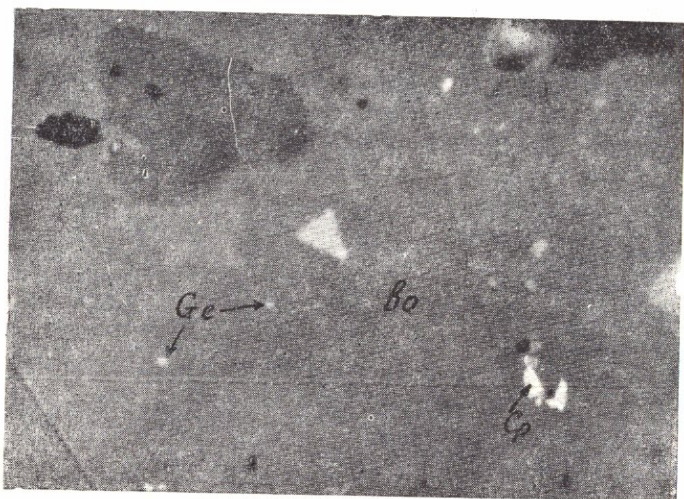


Рис. 47. Треугольник реньерита и тонкие вкрапленники германита (Ge) с халькопиритом (Cp) в полях борнита (bo). Ахталское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 500$  (иммерсия). По А. И. Карапетяну.

ритом он темнее, но хорошо отличается от борнита благодаря своему густооранжевому цвету. В качестве индивидуальной особенности реньерита из Ахталы следует отметить совокупность двух точек на кривой дисперсии (табл. 104) его

Таблица 104  
Дисперсия отражательной способности реньерита из Ахталского месторождения

$\lambda$ , ммк	443	465	493	525	557	590	617	650	671	704
R, %										
Воздух	18	19,1	21	24	26,6	32	32,4	33,8	33,5	33,1
Иммерсия	6,5	9,6	11,8	16,1	18,2	20,3	21,7	21,3	20,9	

отражательной способности: в синем свете ( $\lambda = 450$  ммк) реньерит по освещенности уравнивается со сфалеритом и не отличается или едва заметно светлее борнита, в длинноволновой части спектра ( $\lambda = 600-700$  ммк) реньерит отчетливо светлее, чем борнит и теннантит (рис. 48).

Анизотропия слабая, относительная сила двуотражения ( $\Delta R_{\text{отн.}}$ ) достигает своего максимума (0,067%) в желтом свете. Рентгенограмма изученного минерала (табл. 105) иден-

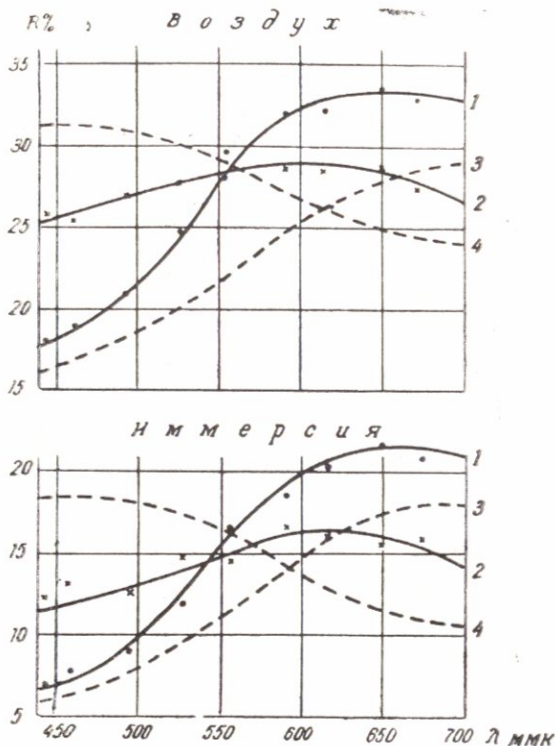


Рис. 48. Кривые дисперсии отражательной способности реньерита (1) и германита (2) из Ахтальского месторождения в сравнении с эталонами: борнитом (3) и теннантитом (4). По А. И. Карапетяну.

Таблица 105

Межплоскостные расстояния реньерита из Ахтальского месторождения\*

l	$d\alpha/n$	l	$d\alpha/n$
10	3,06	4	1,080
8	1,87	3	1,016
6	1,595	2	0,928
1	1,325	2	0,892
3	1,214	2	0,837

\* Условия съемки: излучение Cu—Ni; камера РКД ( $2R=57,3$ ), экспозиция 8 ч.; препарат—шарик (аналитик Э. Х. Хуршудян).

тична таковой реньерита из месторождений Тсумеб и Принц-Леопольд.

Колусит  $\text{Cu}_3(\text{As}, \text{Sn}, \text{V}, \text{Fe}, \text{Te})\text{S}_4$ . По двум анализам (Минералы, т. I, 1960) в колусите определены следующие элементы: Cu, Fe, Sn, V, As, Sb, S, Te (табл. 106).

Таблица 106

Химический состав колусита

Содержание в %									Сумма
Cu	Fe	Sn	V	As	Sb	S	Te	н. о.	
47,99	1,09	6,71	2,28	9,54	0,19	30,65	1,26	—	99,71
46,90	3,60	5,80	?	8,40	0,64	29,20	0,40	0,9	95,84

Очень редкий минерал. Обнаружен в рудах Зодского золоторудного месторождения (Ш. О. Амирян, 1961) в ассоциации с мелонитом, теллуrowисмутитом, алтаитом, пирротинном, теннантитом, тетраэдритом, бравоитом, арсенопиритом, марказитом, халькопиритом.

В отраженном свете медно-розовый, что хорошо наблюдается в сростании с теллуrowисмутитом и мелонитом. Отражательная способность в пределах 40—45% (выше пирротина, ниже халькопирита). Изотропный. Твердость равна или чуть ниже халькопирита и явно ниже твердости бравоита. Полируется хорошо, но остается исстрихованным. Спайность не наблюдается. По трещинам развивается другой минерал серого цвета с низкой отражательной способностью (по-видимому, вейссит).

От  $\text{HNO}_3$  и  $\text{HCl}$  буреет. Микроспектрально в нем обнаружены: Cu, As, Sn, V, Sb, Pb, Fe, Ni, Bi. Содержание этих элементов высокое и в теллуридовых концентратах. Наличие олова и ванадия подтверждает определение минерала как колусит.

Айкинит —  $\text{PbCuBiS}_3$ . Теоретический состав: Cu—11,03, Pb—35,94, Bi—36,29, S—16,74%. В качестве примесей иногда присутствуют: Au, Fe, Ni, Sb. Установлен в рудах Каджаранского месторождения (А. С. Фарамазян) вместе с галеновисмутитом в полях халькопирита и в полиметаллических рудах месторождений Айоцзорского рудного района—Газма, Каялу, Гюмушхана (В. О. Пароникян, 1962).

В месторождениях Айоцзорского рудного района среди сульфовисмутитов свинца и меди айкинит является наиболее распространенным. Особенно часто этот минерал встречается

в относительно более высокотемпературных рудах месторождений Каялу и Гюмушхана. На Газминском месторождении айкинит был встречен на самом нижнем горизонте жилы № 5. Айкинит в указанных рудах тесно ассоциирует с халькопиритом, галенитом, блеклой рудой, матильдитом, арамайонитом, эмплектитом, виттихенитом, козалитом, теллуrowисмутитом. Повышение концентрации айкинита в рудах, как правило, сопровождается возрастанием частоты встречаемости частиц самородного золота, развитого в полях айкинита или стыках его с другими сульфидами.



Рис. 49. Игольчатые и тонкопластинчатые выделения теллуrowисмутита (светло-белое) в полях айкинита (ak) и в пограничных участках с бурнонитом (pir) и галенитом (ga). Газминское месторождение. Поляр. шлиф.  $\times 320$ . По В. О. Пароникяну.

Образует бесформенные, иногда пластинчатые и игольчатые выделения, приуроченные чаще всего к полям галенита (рис. 49) и блеклой руды (рис. 50, 51), реже халькопирита и пирита: иногда в виде прожилков пересекает поля блеклой руды или же располагается на пограничных участках сульфидов. Прожилки айкинита в ассоциации с халькопиритом мощностью до 2 см установлены на Зивлихском участке Гюмушханского месторождения.

Обычно полируется хорошо; лучше, чем галенит. Относительный рельеф выше галенита и намного ниже, чем у халькопирита. Микротвердость варьирует в пределах 140—175 кг/мм<sup>2</sup>

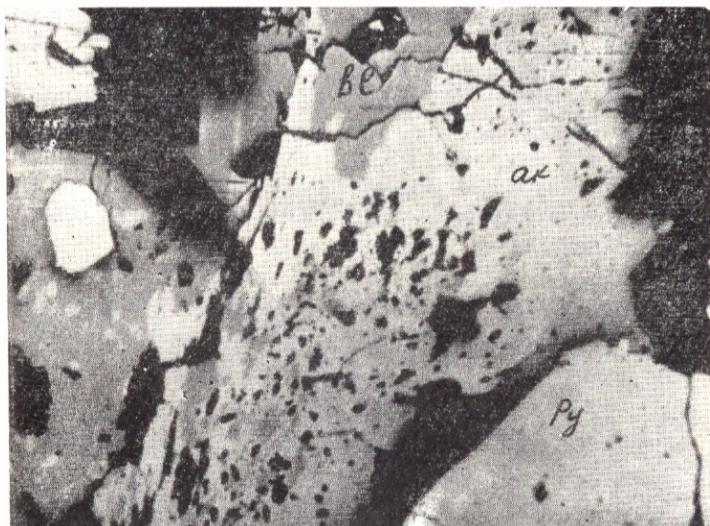


Рис. 50. Замещение блеклой руды (bl) айкинитом (ak) в контакте с пиритом (Py). Темные поля—кварц. Гюмушханское месторождение. По-  
лир. шлиф.  $\times 160$ . По В. О. Пароникяну.

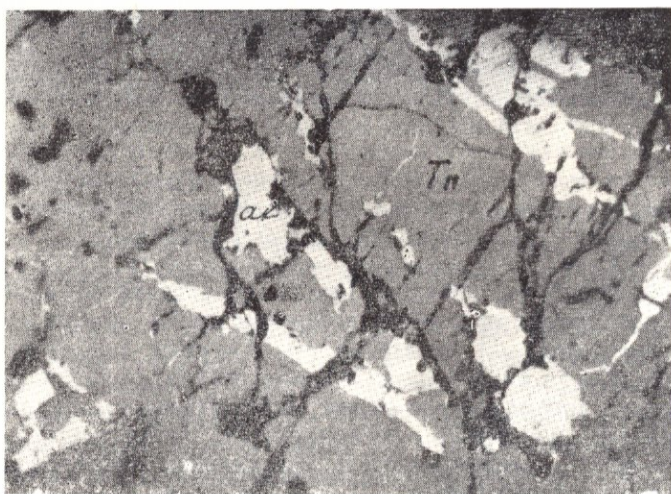


Рис. 51. Тонкие прожилки и выделения айкинита (ak), пересекающие поля теннантита (Tn). Черное—кварц. Каялинское месторождение. По-  
лир. шлиф.  $\times 160$ . По В. О. Пароникяну.

и по 8 измерениям составляет  $157 \text{ кг/мм}^2$ . Цвет в отраженном свете кремово-белый. Кремовый оттенок лучше проявляется в соседстве с галенитом. Двуотражение, в зависимости от сечений агрегатов, от слабого до умеренного; хорошо заметно на границе отдельных индивидов; в масле усиливается с цветным эффектом: Rg—кремово-белый, Rp—серо-белый с коричневатым оттенком. В скрещенных николях минерал сильно анизотропный, при этом структура минерального агрегата мозаичная: местами отмечаются пластинчатые или удлиненные индивиды. Двойникование зерен не наблюдается. Отражательная способность при оранжевом светофилтре составляет  $\sim 43,5\%$ . Кривая дисперсии отражательной способности характеризуется максимумом в зеленой части спектра. Спектральным анализом в айкините установлены: Ag—5,0, Au—0,3 и Te—0,05%.

Айкинит из месторождений Газма, Каялу, Гюмушхана подтвержден рентгенометрически (табл. 107; В. О. Паронилян, 1962).

Миаргирит— $\text{AgSbS}_2$ . Теоретический состав: Ag—36,72, Sb—41,45, S—21,83%, незначительные примеси—As, Fe, Cu, Pb.

Очень редкие выделения отмечены в сульфоантимонитовых рудах Азатекского месторождения (В. О. Паронилян, 1964). Миаргирит здесь ассоциирует с буланжеритом и геокронитом. Относительный рельеф ниже, чем у отмеченных выше минералов. Микротвердость составляет  $98,0 \text{ кг/мм}^2$ . Цвет—синевато-серый. В масле синий оттенок становится более отчетливым. Отражательная способность при оранжевом светофилтре составляет  $\sim 31,9\%$ , визуально немного ниже геокронита. Двуотражение очень слабое. Умеренно анизотропный. Внутренние рефлексии красные, лучше наблюдаются в масле и по трещинкам.

Армайцит (?) —  $\text{Ag}(\text{Sb}, \text{Bi})\text{S}_2$ . Теоретический состав: Ag—34,77, Bi—14,02, Sb—30,55, S—20,66%. Установлен в полях галенита Гегарчинского участка Каялинского месторождения (В. О. Паронилян, 1967). Формы выделения частиц: изометрические, оваловидные, нередко тонкопластинчатые и, реже, кубические. Размеры их составляют обычно тысячные и сотые доли миллиметра. Количество составляет до 10—15% площади галенита. Эти включения в галените образуют типичные структуры распада (рис. 52), располагаясь в двух или трех параллельных направлениях, очевидно по кубической  $\parallel (100)$  и октаэдрической  $\parallel (111)$  спайности галенита. Небольшие размеры зерен не позволяют произвести их точную диагностику. Под микроскопом определяются следующие свойства: относительный рельеф равен или немного выше, чем

Межплоскостные расстояния айкинита из месторождений  
Айондзорского рудного района\*

Газма		Каялу		Гюмушхана	
l	da/n	l	da/n	l	da/n
3	4,02	5	4,16	—	—
1	3,78	—	—	7	3,88
10	3,61	10	3,66	8—9	3,596
10	3,19	10	3,22	10	3,146
—	—	2	2,98	—	—
9	2,84	8	2,89	8	2,841
—	—	—	—	1	2,742
9	2,69	4	2,72	4	2,674
3	2,60	4	2,60	3	2,584
3	2,50	1	2,52	4	2,495
1	2,37	2	2,38	3	2,354
3	2,26	2	2,30	3	2,271
3	2,15	3	2,18	4	2,152
3	2,10	3	2,11	—	—
—	—	3	2,01	5	2,02
10	1,982	3	1,961	6	1,973
3	1,937	—	—	6	1,943
9	1,887	—	—	2	1,883
—	—	—	—	1	1,805
2	1,760	2	1,78	6	1,754
4	1,641	—	—	—	—
1	1,592	—	—	—	—
—	—	1	1,578	5	1,586
4	1,526	3	1,535	4	1,520
4	1,485	1	1,480	1	1,486
—	—	—	—	—	—
2	1,452	—	—	1	1,451
1	1,406	4	1,410	4	1,402
2	1,365	1	1,370	3	1,372
—	—	—	—	1	1,351
2	1,332	2	1,337	2	1,326
—	—	—	—	3	1,300
—	—	—	—	3	1,269
—	—	—	—	—	—

\* Анализ выполнен в лаборатории ИГЕМ Г. В. Беловой. Условия съемки: Fe<sub>α</sub>—излучение; камера РКД—57,3; резиновый шарик; h—3 ч.

у галенита и заметно ниже блеклой руды. Полируется лучше галенита. Отражательная способность визуально определяется между галенитом и блеклой рудой и близко стоит к бурнониту. Двухотражение и анизотропия выражены слабо. Внутренние рефлексы отсутствуют. Галениты с включениями ара-

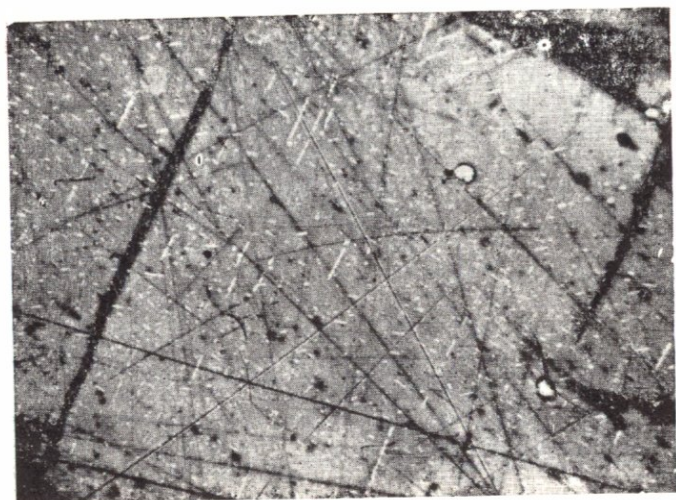


Рис. 52. Типичные структуры распада тонкопластинчатых и эмульсиевидных зерен арамайюита в галените. Каялинское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 105$ . По В. О. Пароникяну.

майюита, согласно данным спектральных и химических анализов, обогащены Ag, Sb и Bi.

Матильдит —  $\text{AgBiS}_2$ . Теоретический состав: Ag—28,33, Bi—54,84, S—16,83%. Примеси—Au, Pb, Se. Установлен в рудах Газминского, Каялинского и Гюмушханского месторождений (В. О. Пароникян, 1962), в которых встречается исключительно в полях галенита и образует самые разнообразные по форме включения: эмульсиевидные, пластинчатые и реже, бесформенные. Размеры описываемых частиц обычно находятся в пределах разрешающей способности микроскопа и реже доходят до 0,04 мм в длину. Пластинчатые тельца матильдита в галените часто располагаются по следам спайности в одном или двух направлениях, аналогично структурам распада твердого раствора; бесформенные и крупные по размерам включения создают в галените петельчатую или импликационную структуру, промежутки которых заполнены параллельными тонкопластинчатыми тельцами. Судя по частоте их встречаемости, выделения матильдита характерны для относительно более высокотемпературных галенитов (Каялу) и в меньшей степени для низкотемпературных (Гюмушхана, Газма). В последних случаях матильдит устанавливается в образцах, отобранных из нижних горизонтов месторождений.

Описываемый минерал полируется хорошо; относительный рельеф немного выше, чем у галенита. Микротвердость 115—124 кг/мм<sup>2</sup>. Цвет белый с едва заметным кремовым оттенком. Слабо, иногда умеренно двуотражающий с изменением цветного оттенка (особенно в масле): Rg—кремово-белый (при этом отражательная способность матильдита почти равна R галенита), Rp—серо-белый с нежно-зеленоватым оттенком (Rp ниже, чем у галенита). Умеренно-сильно анизотропный с цветным эффектом при диагональных положениях зерен: кремово-желто-белый и коричневато-серый. Микроспектральные анализы показали много Ag и Bi.

Можно предположить, что указанные частицы в галените первоначально были представлены изоструктурным с галенитом псевдокубическим шапбахитом, выделявшимся в самостоятельную фазу и претерпевшим полиморфное превращение в ромбический матильдит (температура превращения <225°) при падении температуры.

Эмплектит —  $\text{CuBiS}_2$  (медно-висмутовый блеск), теоретический химический состав: Cu—18,88, Bi—62,08, S—19,04%. Довольно часто встречается в рудах медно-молибденовых месторождений и редко—в полиметаллических и медно-мышьяковых. Установлен в рудах следующих месторождений: Мецдзорского (И. Г. Магакян, 1944), Каджаранского, Дастакертского, Агаракского, Джиндаринского, Айгедзорского (Г. О. Пиджян), Анкаванского (А. И. Карапетян, 1961), Каялинского (В. О. Пароникян, 1962) и Меградзорского (Ш. О. Амирян, А. И. Карапетян, 1964).

В медно-молибденовых месторождениях эмплектит встречается в рудах кварц-халькопирит-молибденитовой и в особенности кварц-халькопиритовой и полиметаллической стадий минерализации. Очень тесно ассоциирует с висмутином, виттихенитом, купровисмутитом, выделяясь мельчайшими удлиненными, игольчатыми неправильными формами и нередко в виде каемок в полях халькопирита, висмутина, борнита, теннантита (рис. 32), энаргита и, реже, галенита и сфалерита. На Анкаванском и Каджаранском месторождениях отмечаются ассоциации эмплектита с теллуридами висмута. При этом на Анкаване эмплектит вместе с виттихенитом образует концентрически-зональные выделения вокруг теллуровисмутита и тетрадимита (рис. 53).

На Каялинском полиметаллическом месторождении (участок Гегарчин) эмплектит тесно ассоциирует с виттихенитом, выделяясь в полях галенита и реже образуя каемку вокруг козалита. На Мецдзорском месторождении эмплектит выделяется в полях теннантита.

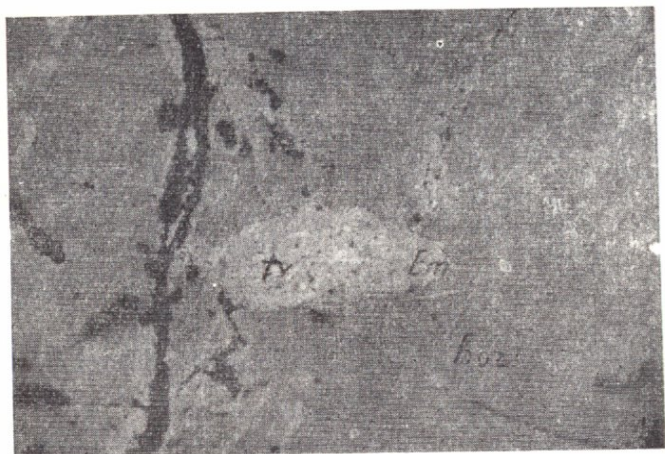


Рис. 53. Эмплектит (Em) образует каемку вокруг теллурависмутита (Tv). Общее поле борнит (Bor). Анкаванское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 365$ . По А. И. Карапетяну.

Эмплектит в отраженном свете характеризуется серовато-белым цветом с желтовато-кремовым оттенком. Отражательная способность выше, чем у теннантита, виттихенита, и ниже, чем у халькопирита, висмутина, козалита, айкинита, и составляет для эмплектита из Дастакерта для оранжевых лучей 34—37%, а для зеленых лучей—до 41% (Г. О. Пиджян). Для эмплектита из Анкавана отмечается отражательная способность до 42% (А. И. Карапетян). Эффекты анизотропии в воздухе и в иммерсии четко наблюдаются иногда с нежными цветами от зеленоватого до серо-бледно-желтого. Двухотражение в воздухе слабое и отчетливо устанавливается в иммерсии. Рельеф эмплектита ниже, чем халькопирита, и очень близок к рельефу висмутина и виттихенита, твердость низкая. Полируется хорошо, внутренние рефлексы не наблюдаются. При действии разбавленной  $\text{HNO}_3$  и царской водки быстро чернеет.

Микроспектральным анализом получены сильные линии висмута. Эмплектит относится к числу трудно диагностируемых минералов. Особенно трудно отличается от висмутина и сульфовисмутитов свинца и меди.

Эмплектит из Дастакертского месторождения был подтвержден рентгенометрическими исследованиями (Г. О. Пиджян). Анализ произведен в минераграфической лаборатории ИГЕМ Г. В. Басовой. Условия съемки:  $\text{Fe}_\alpha$  —излучение, камера РКД ( $2R=57,3$  мм),  $d=0,3$  мм, экспозиция 5 ч. (табл. 108).

Межплоскостные расстояния эмплектита из Дастакертского месторождения

1	$d\alpha/n$	1	$d\alpha/n$	1	$d\alpha/n$
2	3,34	2	1,859	1	1,213
10	3,19	5	1,768	2	1,087
4	3,06	2	1,651	2	1,077
3	2,38	3	1,527	2	1,070
8	2,16	4	1,409	1	1,044
4	1,955	2	1,341	2	1,009

Купровисмутит (?) —  $\text{CuBiS}_2$  (сульфовисмутит меди и серебра). Химическая формула точно не установлена, теоретический состав:  $\text{Cu}$ —18,88,  $\text{Bi}$ —62,08,  $\text{S}$ —19,04%. Первоначальная формула  $3\text{Cu}_2\text{S}\cdot 4\text{Bi}_2\text{S}_3$  не соответствует рентгеновским данным.

Купровисмутит является очень редким минералом руд Армянской ССР, установлен предположительно в Айгедзорском, Джиндаринском (Г. О. Пиджян) и Зодском (Т. А. Твалчрелидзе, 1959) месторождениях. В медно-молибденовых месторождениях встречается в виде столбчатых, призматических выделений в полях халькопирита размерами до 0,01—0,03 мм. В отраженном свете купровисмутит серовато-белый, почти белый, без желтовато-кремового оттенка. Отражательная способность выше, чем у виттихенита и эмплектита, но заметно ниже, чем у висмутита и халькопирита. Эффект анизотропии заметен в воздухе, а двуотражение устанавливается только в иммерсии. Микроспектральным анализом в минерале установлены сильные линии висмута и меди.

Козалит —  $\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{S}_5$ . Теоретический состав:  $\text{Pb}$ —41,75,  $\text{Bi}$ —42,10,  $\text{S}$ —16,15. В качестве примесей присутствуют  $\text{Ag}$ ,  $\text{As}$  и  $\text{Sb}$ . Установлен в полиметаллических рудах Гегарчинского участка Каялинского месторождения (В. О. Пароникян, 1962) и в пирит-халькопиритовых рудах Тейского участка Личкваского золоторудного месторождения (Ш. О. Амирян, 1966). Представлен в виде пластинчатых и, реже, игольчатых выделений в полях теннантита и халькопирита (рис. 54). С последним образует реакционную кайму, состоящую из айкинита и, реже, эмплектита и виттихенита.

Козалит полируется хорошо, лучше, чем галенит. Относительный рельеф немного выше, чем у галенита, и ниже айкинита. Микротвердость козалита из Каялинского месторождения 107—132  $\text{кг/мм}^2$ . Цвет минерала белый, похож на галенит,

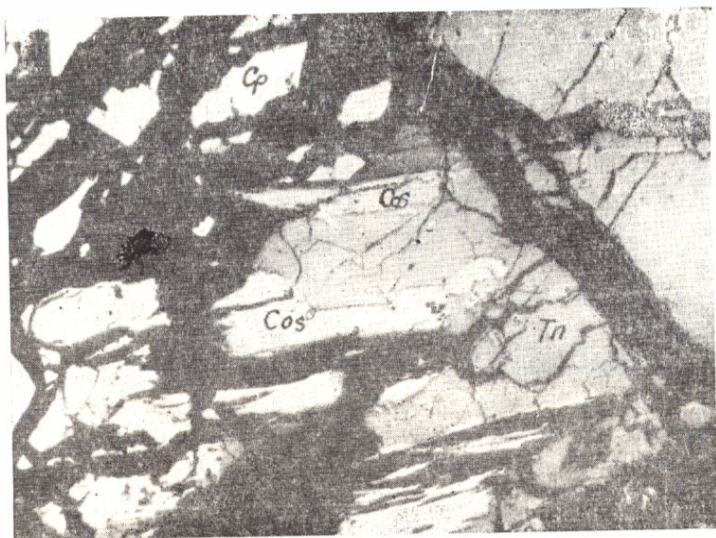


Рис. 54. Срастание пластинчатых выделений козалита (Cos) с теннантитом (Tn) и халькопиритом (Cp). Черные поля и прожилки—карбонат. Каялинское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 160$ . По В. О. Пароникяну.

отражательная способность равна 42,7% (для фиолетовых лучей). Двухотражение от слабого до умеренного; сильно анизотропный. В скрещенных николях проявляются удлинённые и пластинчатые индивиды без двойникования. Козалит подтвержден рентгенометрическими анализами (В. О. Пароникян, 1962; Ш. О. Амирян, 1966). Межплоскостные расстояния приведены в табл. 109.

Галеновисмутит —  $PbBi_2S_4$  (свинцово-висмутовый блеск). Теоретический химический состав: Pb—27,50, Bi—55,48, S—17,02. В виде примесей в небольших количествах содержит Sb и Se, замещающие изоморфно Bi и S. Иногда содержит Au и Ag.

Галеновисмутит является редким минералом в рудах Армении. Достоверно установлен в медно-молибденовой формации руд на месторождениях Дастакерт (Г. О. Пиджян), Каджаран (А. С. Фарамазян) и Азатек (Ш. О. Амирян, А. Г. Акопян, 1969). Предположительно отмечается в рудах Кафанского месторождения в полях халькопирита и пирита (Р. Н. Зарьян, 1962).

## Межплоскостные расстояния козалита

1		2	
1	$d\alpha/n$	1	$d\alpha/n$
1	3,91	—	—
1	3,64	—	—
10	3,45	8	3,42
1	3,16	4	3,26
1	3,08	5	3,03
10	2,98	10	2,91
1	2,89	5	2,79
1	2,79	1	2,68
2	2,14	4	2,23
6	2,11	5	2,11
5	2,04	8	2,01
3	1,812		
3	1,792	3	1,79
2	1,745	3	1,74
2	1,716	—	—
—	—	3	1,41
1	1,891	3	1,38
2	1,826	—	—
—	—	—	—
2	1,214	—	—
1	1,187	—	—

1. Каялинское месторождение. Анализ выполнен в лаборатории ИГЕМ Г. В. Басовой. Условия съемки:  $Fe_{\alpha}$  — излучение; камера РКД—57,3; резиновый шарик;  $h$ —3 ч.

2. Личквасское месторождение. Анализ выполнен в лаборатории ЦНИГРИ Л. Валявко. Условия съемки:  $Fe_{\alpha}$  — излучение; камера РКД—57,3;  $2g$ —0,4 мм;  $h$ —2,5 ч.

В медно-молибденовых месторождениях галеновисмутит встречается в рудах кварц-молибденит-халькопиритовой и кварц-халькопиритовой стадий минерализации в виде мельчайших выделений неправильной и игольчатой формы размерами 0,002 до 0,01 мм в ассоциации с халькопиритом, галенитом и висмутином. Границы, разделяющие галеновисмутит и халькопирит, ровные и прямые, что говорит об одновременном выделении этих минералов с образованием тонкодисперсных структур распада твердых растворов. В полях галеновисмутита (рис. 55) отмечаются тонкие игольчатые выделения айкинита (А. С. Фарамазян).

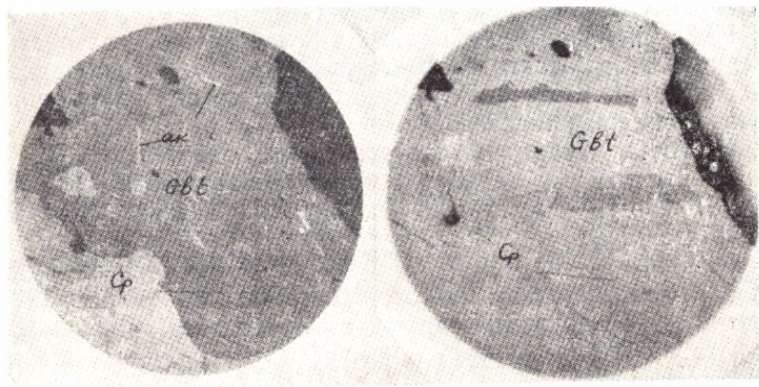


Рис. 55. Выделения галеновисмутита (Gbt) с игольчатыми выделениями айкинита (ak) в сростаниях с халькопиритом (Sp). Каджаранское месторождение. Полир. шлиф. (иммерсия)  $\times 450$ . а—ник. параллельны, б—ник. скрещены. По А. С. Фарамазяну.

В отраженном свете галеновисмутит белый, напоминающий по цвету и отражательной способности галенит, однако отчетливо анизотропен со слабым цветным эффектом от желтовато-коричневого до голубовато-серого. Двухотражение в иммерсии отчетливое. Микрхимической реакцией в минерале обнаружены Bi и Pb, а микроспектральный анализ показал сильные линии Bi и Pb.

#### 4. Окислы и гидроокислы

Теллури́т —  $\text{TeO}_2$ . Теоретический состав: Te—79,50, O—20,50%. Установлен в ассоциации с бисмитом, монтанитом, блэкеитом, бисмутитом и другими окислами и гидроокислами железа, мышьяка, сурьмы и марганца в зоне окисления Зодского месторождения (Ш. О. Амирян, 1961) в виде порошковатого налета белого, желтовато-белого цвета на измененных теллуридах и в их продуктах.

Полуколичественным спектральным анализом в теллури́те обнаружены: Bi, Te—3—10, Fe, Cu, Sb, Au—1—3, Cu, Zn—0,3—1, Ni, Pb, Ag—0,1—0,3, Ti, V, Cr, As—0,001—0,03%.

Монтани́т —  $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{O}_4(\text{OH})_4$ . Встречается в зоне окисления Зодского (Ш. О. Амирян, 1961), Анкаванского (А. И. Карапетян, 1961), Меградзорского (А. И. Карапетян, Ш. О. Амирян, 1963) месторождений и Сарнахпюрского проявления

(Н. С. Хачатрян, Б. Д. Акопян, 1962). В виде корок развивается по теллурувисмутиту и тетрадимиту.

Цвет минерала белый, серый с зеленоватым, желтоватым оттенком. В отраженном свете серый, обычно неоднородный, слабо двуотражающий. Обычно с бесцветными, внутренними рефлексами, низкой твердости.

От  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ , царской водки и  $\text{KCN}$  чернеет.

Спектральными анализами в нем обнаружены:  $\text{Te}$ ,  $\text{Bi} > 10\%$ ,  $\text{Sb}$ ,  $\text{Pb}—1—3\%$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Ti}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Hg}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Au}$ —от 0,001 до 0,1%.

Блэкеит— $\text{Fe}(\text{TeO}_3)_3$ . Установлен в окисленных рудах Зодского золоторудного месторождения (Ш. О. Амирян, 1961) в ассоциации с другими вторичными продуктами и золотом. Представлен в виде корочек и землистых масс бурого, красновато-бурого цвета.

В отраженном свете серого цвета. Отражательная способность—10—12%. Изотропный. Низкой твердости. С бурыми, красными внутренними рефлексами.

От  $\text{HNO}_3$  и  $\text{HCl}$ —чернеет. Микроспектрально в блэкеите определены:  $\text{Bi}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Te}$  (много),  $\text{Cu}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Sb}$ ,  $\text{As}$  (следы). Полуколичественными спектральными анализами в минерале установлены:  $\text{Fe}$ ,  $\text{Te}$ ,  $\text{Bi}—3—10$ ,  $\text{Au}$ ,  $\text{Cu}—1—3$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Ti}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Zn}—0,001—0,1\%$ .



Рис. 56. Замещение алтаита (at) данхёмитом (dan). Черное—кварц. Меградзорское месторождение. Полир. шлиф.  $\times 100$ . По Ш. О. Амиряну.

Данхёмит —  $PbTeO_3$ . Вторичный продукт, образующийся за счет алтаита. Встречается в зоне окисления золоторудных месторождений (Ш. О. Амирян, 1961) Зод, Меградзор (рис. 56) и медноколчеданного месторождения Кафан (Р. Н. Зарьян, 1962).

Таблица 110

Межплоскостные расстояния данхёмита из Кафанского месторождения (Р. Н. Зарьян, 1966)  
Условия съемки: Fe—антикатод; камера РКД—57,3;  $h = 8$  ч.

l	$d\alpha/n$	l	$d\alpha/n$	l	$d\alpha/n$
2	3,71	1	1,825	6	1,226
10	3,37	4	1,690	8	1,132
4	3,23	7	1,653	2	1,120
4	3,06	1	1,560	6	1,113
10	2,96	6	1,514	9	1,092
2	2,79	1	1,387	4	1,075
5	2,39	1	1,349	1	1,029
1	2,13	2	1,305		
5	2,05	3	1,264		
10	1,867	7	1,259		

В отраженном свете—серо-коричневый. Отражательная способность для желтой части спектра равна 22%. Сильно двуотражающий. Анизотропия сильная. Твердость низкая. Микротвердость равна 11—13 кг/мм<sup>2</sup>. В виде кайм развивается по алтаиту.

От  $HNO_3$  быстро чернеет. Данхёмит из Кафана изучен рентгенометрически (табл. 110, аналитик Г. А. Сидоренко, ВИМС).

## Б. МИНЕРАЛЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ШЕЛОЧНЫХ И НЕФЕЛИНОВЫХ СИЕНИТОВ

Детальными минералогическими исследованиями в щелочных, нефелиновых сиенитах и пегматитах Тежсарского и Мегринского комплексов установлено около 35 редкометалльных аксессуарных минералов. Ниже приводится описание редкометалльных минералов, установленных в нефелиновых сиенитах.

**Велерит**  $NaCa_2(Zr, Nb)[SiO_4]_2F$ . Химический состав, по данным И. П. Тихоненкова, М. Е. Казакова:  $SiO_2$ —30,32,  $Nb_2O_5$ —16,79,  $ZrO_2$ —15,53,  $CaO$ —28,15,  $Na_2O$ —7,87,  $FeO$ —2,40%. В виде примеси содержит Y, TR, Hf, Sc.

Встречается только в нефелиновых сиенитах и пегматитах Тежсарского комплекса в ассоциации с цирконом, бадделентом, пироклором, сфеном, флюоритом и меланитом. Очень редок. Образует призматические и таблитчатые кристаллики желтовато-коричневого цвета. Реже бледно-лимонно-желтый. Облик кристаллов различный. Обычно игольчатые удлиненно-призматические кристаллы, реже таблитчатые. Кристаллы прозрачны. Спайность выражена слабо. Размеры кристаллов от 0,05 до 0,2 мм. Двуосный отрицательный. Удлинение отрицательное:  $2V(-) = 46-59^\circ$ ,  $Ng' = 1,730$ ,  $Np' = 1,712$ . Двупреломление порядка 0,012—0,020.

Данные рентгенометрического анализа (табл. 111) также указывают на близость описываемого минерала к велериту (по Е. И. Семенову, 1958).

Таблица 111

Рентгенометрическая характеристика велерита\*

l	d/n	l	d/n
3	3,34	4	1,800
4	3,27	5	1,771
3	3,16	5	1,727
1	3,00	5	1,653
10	2,895	3	1,665
2	2,806	2	1,541
2	2,615	5	1,485
1	2,550	1	1,420
1	2,315	3	1,263
2	2,212	3	1,139
1	2,080	3	1,110
3	1,994		
4	1,941	2	1,051
6	1,892		

\* Рентгенограмма выполнена в лаборатории ИГН АН Арм ССР (Э. Х. Хуршудян). Условия съемки: Cu—антикатод; камера РКД ( $R=57,3$  мм);  $2\theta=0,5$ ; экспозиция 10 ч. Образец не прокален.

По данным полуколичественного спектрального анализа установлены: Ti—0,01, Zr—0,3—1,0, Hf—0,03, Nb—0,03—0,1, Y—0,1, Ce—3,0, La—1,0, Th—0,3—1,0%, а также Ca, Na, Fe и др.

Судя по приведенным данным, минерал близок к редкоземельному велериту.

Лопарит —  $(Ce, Na, Ca)_2(Ti, Nb)_2O_6$ . Теоретический химический состав:  $(Nb, Ta)_2O_5$ —11,0,  $TiO_2$ —39,2,  $\Sigma TR_2O_3$ —32,3, FeO—0,1,  $ThO_2$ —0,5, CaO—4,5,  $Na_2O$ —8,0%. Минерал кубической сингонии.

Встречается в Тежсарском щелочном комплексе в нефелиновых сиенитах и особенно часто в мусковитизированных разностях. Ассоциирует с пирохлором, велеритом, цирконом, бриолитом и другими редкоземельными минералами. Встречен также в жильных нефелин-сиенитовых телах и пегматитах.

Образует кристаллы кубической формы черного и бархатно-черного цвета. Часты весьма характерные двойники по флюоритовому закону. Размеры выделений 0,2—0,3 мм. Характерны также ксеноморфные зерна с исчербленной, часто лейкоксенизированной поверхностью. В иммерсии просвечивает густым буровато-красным цветом. Изотропен  $N \geq 2,3$ .

Полуколичественным спектральным анализом обнаружено высокое содержание Na, Ca, а также  $Nb > 3,0$ ,  $Ti > 5-10$ ,  $Sc > 3,0$ ,  $La > 1,0$ ,  $Th = 1-3$ ,  $Y = 0,1-0,3$ ,  $Sc = 0,01$ ,  $Sr = 0,1-0,3\%$ , мало Cu, Ni, Fe и др. Минерал по рентгенограмме (табл. 112) точно диагностируется как лопарит. В Тежсарском комплексе обнаружен впервые.

Таблица 112

Рентгенометрическая характеристика лопарита\*

l	d/n	l	d/n
10	2,70	7	1,364
—	—	6	1,223
10	1,930	8	1,033
10	1,567	5	0,909

\* Условия съемки: Cu—Ni—антикатод,  $2R = 57,3$  мм,  $d = 0,45$ ; экспозиция 24 ч. Прокален при  $t^\circ = 900^\circ$ .

Бадделейт —  $ZrO_2$ . Теоретический состав: Zr — 74, примеси — U — 1, Hf — 0,3—1,0, Th — 0,2, Nb — 1,0%. Очень редкий минерал в щелочных сиенитах Мегринского комплекса и очень распространенный циркониевый минерал в нефелиновых сиенитах Тежсарского комплекса. Ассоциирует с велеритом, меланитом, сфеном, торитом, нефелином.

Бадделейт образует удлиненно-призматические, сильно уплощенные кристаллы с резко выраженной штриховкой, размером 0,1—0,3 мм. Цвет желто-коричневый, буро-коричневый. Плеохроизм резкий. Показатели преломления выше 1,8. Двупреломление высокое. Рентгенометрический анализ (табл. 113) показал его принадлежность к бадделейту (по И. В. Михееву, 1957).

Рентгенометрическая характеристика бадделита\*

I	d/n	I	d/n
2	3,76	2	1,560
10	3,31	6	1,496
4	2,94	2	1,410
1	2,64	5	1,335
5	2,20	1	1,230
10	1,842	4	1,034
7	1,712	4	0,998
4	1,670	6	0,892
2	1,612	3	0,847

\* Рентгенограмма выполнена в лаборатории ЛГУ (Е. Макарова).  
Cu—Ni—антикатод,  $2R=86$  мм;  $d=0,7$  мм.

Химический состав бадделитов, по данным полуколичественных спектральных анализов (ИГН), приведен ниже (табл. 114).

Таблица 114

## Химический состав бадделита

Бадделит	Содержание в весовых %									
	Ti	Zr	Hf	Nb	Y	La	Yb	Th	Cu	Fe
Тежсар	0,1—0,3	3—10	0,3	0,05	0,01—0,03	0,03	0,03	0,03	0,003	0,1
Мегри	0,03—0,1	10	0,3	0,03	0,01	0,03	0,01	0,01	—	0,3

Образование бадделита в породах повышенной щелочности связано с высокой подвижностью комплексных соединений циркония в резко щелочных условиях, что при недостатке кремнезема приводит к образованию бадделита вместо позднего циркона. Как правило, ассоциирует с ранним серо-розовым цирконом. Широкая распространенность бадделита в Тежсаре связана с его более высокой щелочностью и недосыщенностью кремнеземом. В виде примеси установлены: V, Ni, Cu.

Пироклор —  $(Na_2Ca)(Ce, Th, U)_2[Nb, Ti, Ta]_2O_7$ . Химический состав непостоянен:  $Nb_2O_5$ —0—63,  $Ta_2O_5$ —0—77,  $TiO_2$ —2,13,  $ThO_2$ —0,5,  $UO_2$ —10—15,  $CaO$ —4—18,  $Na_2O$ —1—6,

FeO—0—10, TR<sub>2</sub>O<sub>5</sub>—2—18, H<sub>2</sub>O—0—6,0%. Встречается преимущественно в нефелиновых сиенитах Тежсарского комплекса, а также в пегматитах Мегринского комплекса. Для нефелинсиенитовой формации один из распространенных титано-танталониобатов. Содержание незначительное. Встречается в

Таблица 115

Рентгенометрическая характеристика пирохлора\*

I	d $\alpha$ /n	i	d $\alpha$ /n
7	3,32	8	1,658
3	3,13	4	1,489
7	3,01	2	1,339
3	2,895	1	1,310
9	1,832	5	1,185
4	1,712	2	1,090

\* Рентгенограмма выполнена в лаборатории ЛГУ (Э. Макарова), Cu—Ni—антикатод, 2R=86 мм, d=0,7 мм. Образец прокален при t=850°, 34 ч.

виде октаэдрических кристаллов с хорошо развитыми гранями (111). Цвет черный, темно-бурый. Блеск смолистый. Удельный вес 4,2. В иммерсии просвечивает красно-бурым цветом. Изотропен, N=1,78. Включен в полевые шпаты и нефелин, ассоциирует с цирконом, торитом, сфеном, флюоритом, монацитом. Грани кристаллов покрыты серовато-желтыми продуктами разложения.

Данные спектрального анализа показывают высокое содержание лантана, церия, тория и ниобия (табл. 116).

Таблица 116

Химический состав пирохлора

Содержание в весовых %

Fe	Ti	Nb	Ta	Na	Ca	Be	Li	Y	La	Ce	Yb	Sc	Th	U
0,3—1	3,0	3	0,1—0,3	1—3	5	0,0003	0,001	0,3—1,0	1,0	3,0	0,03	0,001	3	2—3

Данные спектрального и рентгенометрического анализов (табл. 115 и 116) подтверждают принадлежность к пирохлору. И. Г. Магакьяном пирохлор отмечается также в пегматитах Тежсара.

Бетафит —  $(Ca, Ce, Y, U, Th)(Nb, Ti, Ta)_3O_9 \cdot nH_2O$ . Химический состав изменчив:  $Nb_2O_5$ —23,3—45,8,  $Ta_2O_5$ —до 28,5,  $TiO_2$ —6,7—18,3,  $CaO$ —3,1—4,  $UO_2$ —18—26,  $\Sigma TR$ —12—15,  $ThO_2$ —5—10,  $H_2O$ —12,5%.

Редко встречается в щелочных сиенитах и нефелиновых монцонитах и пегматитах Мегринского комплекса, а также в пегматитах Тежсарского комплекса. Образует октаэдрические кристаллы буро-коричневого цвета. Размеры кристаллов 0,04—0,1 мм. Ассоциирует с монацитом, циртолитом, бадделитом, торитом, флюоритом. В иммерсии в тонких осколках просвечивает желто-оранжевым цветом. Изотропен,  $N=1,8$ . Обычно покрыт корочкой вторичных минералов.

Спектральным анализом обнаружены:  $Ca$ —3,0,  $Fe$ —1,0,  $Ti$ —5,  $Nb$ —1—3,  $Ta$ —0,1—0,3,  $Y$ —1,0,  $La$ —0,3—1,0,  $Ce$ —0,3—1,0,  $U$ —3,0,  $Th$ —3,0%, а также следы  $Be$ ,  $Sn$ ,  $Pb$ .

Рентгенометрическая характеристика бетафита приведена в табл. 117.

Таблица 117

Рентгенометрическая характеристика бетафита\*

l	d/n	l	d/n
7	3,26	1,5	1,273
9	3,00	1,5	1,145
4	2,80	2	1,044
4	2,57	2	0,986
5	1,97	1,5	0,936
7	1,82	1	0,925
3	1,67	2	0,865
6	1,55	1,5	0,843
2	1,484	1	0,811

\* Рентгенограмма выполнена в лаборатории ИМГРЭ (Ю. Пятенко). Условия съемки:  $Cu-Ni$ —антикатод,  $2R=57,3$  мм;  $2\theta=0,6$  мм. Образец прокален при  $t=850^\circ$ , 3 ч.

Судя по условиям нахождения, бетафит образуется за счет изменения первичного пирохлора при поздних метасоматических процессах. Впервые описан для Мегринского комплекса, позже установлен в пегматитах Тежсарского массива.

Гатчеттолит —  $(Ca, Fe, U)(Nb, Ta, Ti)_2O_6 \cdot H_2O$ . По составу близок к бетафиту, отличается от него меньшим содержанием U и Ti. Установлен в нефелиновых и полевошпатовых пегматитах, приурочен к участкам альбитизации и ассоциирует с мариньякитом, бритолином, везувианом, цирконом, флюоритом и др.

Образует кристаллы октаэдрического габитуса с хорошо развитыми гранями (111), слабо (110) и (112). Размер зерен 0,1—0,3 мм. Изотропен,  $N=1,78$ . Окраска неравномерная, колеблется от черно-бурой до оранжево-коричневой. В изломе наблюдается сильный алмазный блеск. Как правило, с поверхности покрыт землистыми продуктами изменения. Рентгенометрическое изучение гатчеттолита показало его близость к эталону (табл. 118). Спектральным анализом, кроме кальция, натрия, титана установлены: Nb—3,0, Ta—0,3—1,0, Ce—1—3, La—1,0—3,0, U—3,0, Th—3—5, Sn—0,01, Pb—0,003—0,01, Zr—0,01, Y—0,3—1, Mn—0,01—0,03%.

Таблица 118

Порошкограмма гатчеттолита\*

l	d/n	l	d/n
10	2,90	4	1,176
4	2,538	5	1,142
—	—	3	0,985
9	1,791	4	0,867
8	1,549	4	0,855
—	—		

\* Условия съемки: Cu—Ni—антикатод;  $2R=57,3$  мм;  $2\theta=0,45$  мм. Экспозиция 36,4 ч. Образец прокален 2 ч. при  $t=900^\circ$ .

Параметр элементарной ячейки гатчеттолита, вычисленный по данным межплоскостных расстояний, равен  $a_0=10,35+0,01 \text{ \AA}$  (по литературным данным  $a_0=11,29-10,35+0,01$ ).

Ортит —  $(TR, Ca)_2(Al, Fe)[Si_3O_{12}][OH]$ . Химический состав обнаруживает значительные колебания:  $Se_2O_3$  до 6%, (La, Nd, Pr)—до 7,0,  $SiO_2$ —30—32,  $Al_2O_3$ —13—15,  $Fe_2O_3$ —8—10,  $FeO$ —8—10,  $BeO$ —0—9,  $MgO$ —0—2,  $CaO$ —11—13,  $Na_2O$ —0,5—2,0%, Th, U, Y, Sc. Моноклинный.

В щелочных и нефелиновых сиенитах Мегринского и Тежсарского комплексов встречается в виде мелких (до 0,1—0,2 мм) кристалликов таблитчатой и неправильной формы. Содержание его невысокое. В Мегринском комплексе он яв-

Таблица 119

## Химический состав ортита (аналитик И. С. Разина)

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	ThO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	Σ
32,09	0,11	1,28	14,83	8,11	11,88	8,78	0,16	7,90	0,49	1,73	11,29	0,43	0,95	100,11

Таблица 120

## Спектральные анализы ортитов

Ортиты	Содержание в весовых %															
	Mn	Ni	Co	Ti	V	Zr	Cu	Nb	Sc	La	Ce	Th	U	Be	Sc	Ge
Тежсар	1,0	0,001	0,03	1,0	0,01	—	0,003	0,001	0,03	3—10	10	1,0	—	0,001	—	0,001
Мегри	0,03	0,001	0,01	0,3	0,001	0,5—1	0,001	0,01	0,003	1—3	10	0,3—1	0,002	0,001	0,03	0,001

ляется более распространенным минералом, чем в Тежсарском. Значительно широко он развит в щелочных пегматитах, где образует крупные—до 2—3 см кристаллы. Ортит обычно ассоциирует со сфеном, пироксеном, цирконом, апатитом и др.

В прозрачных шлифах просвечивает красно-бурым цветом. Плеохроизм резкий—в желто-бурых тонах. Показатели преломления: ортит Мегри  $Ng' = 1,752$ ,  $Np' = 1,740$ ,  $2V = (+) 85^\circ$ , ортит Тежсара  $Ng' = 1,766$ ,  $Np' = 1,754$ ,  $2V = (+) 74^\circ$ .

Более распространен ортит в субщелочных гранитоидах Амзачиманского массива.

Особенности химического состава ортитов щелочно-нефелин-сиенитовой формации приводятся в таблицах химического анализа мегринского и спектрального анализа тежсарского ортитов (табл. 119 и 120).

Состав редких земель от  $\Sigma TR_2O_3 = 20,66\%$ , принятой за 100, La=31, Ce—57,5, Pr—3, Nd—8,15, Sm—0,4%.

Рассматривая особенности состава ортитов, можно отметить, что они относятся к цериевой разновидности с высоким содержанием  $\Sigma T R_2O_3$  (21—23%). В виде примесей постоянно устанавливаются: Nb, Sc, Th, Be в сотых и тысячных долях процента. Минерал подтвержден рентгенографическим анализом (табл. 121).

Таблица 121

Рентгенометрическая характеристика ортита\*

l	d/n	l	d/n
2	8,04	2	1,762
4	6,72	4	1,728
3	3,54	2	1,693
4	3,32	3	1,667
9	2,97	2	1,593
2	2,83	2	1,554
5	2,74	2	1,499
8	2,70	4	1,419
4	2,62	2	1,338
2	2,21	2	1,288
6	2,15	4	1,253
5	1,950		

\* Рентгенограмма выполнена в лаборатории ИМГРЭ (Ю. А. Пятенко). Условия съемки: камера РКД ( $2R=57,3$ ),  $2r=0,6$ , Cu—Ni—антикатод, Ni—фильтр, экспозиция—10 ч.

Нахождение ортита в щелочных сиенитах обусловлено избытком CaO и отсутствием в конечные стадии кристаллиза-

ции фосфора, а также в участках с явными признаками гибризма.

Монацит —  $\text{CePO}_4$ . Химический состав:  $\Sigma \text{TR}_2\text{O}_3$ —50—68,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ —до 5,  $\text{P}_2\text{O}_5$ —22—31,5,  $\text{ThO}_2$ —5—10%. Среди редкоземельных минералов является наиболее характерным минералом щелочных сиенитов Мегринского комплекса, реже устанавливается в нефелиновых сиенитах Тежсара. Монацит встречается в виде бесцветных (Мегри) и ярко-желтых (Тежсар) таблитчатых по (100) кристаллов размером 0,2—0,4 мм, с характерной спайностью по (001) и (100).

Ассоциирует с апатитом, бадделенитом, цирконом, флюоритом, велеритом и др. Очень характерен для пегматитов, где часто разложен и превращен в церит, бастнезит, роуландит и др. Оптически положителен—(+) $2V=12$ —16°, слабо плеохроирует  $N \geq 1,78$ .

Химический состав монацита (табл. 122) из щелочных сиенитов (аналитик И. С. Разина) показал:  $\Sigma \text{TR}_2\text{O}_3$ —62,3,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ —2,5,  $\text{ThO}_2$ —5,6,  $\text{UO}_2$ —0,62%.

Таким образом, монациты формации щелочных и нефелиновых сиенитов характеризуются высоким содержанием Y, Th и U. В виде примеси постоянно присутствуют Si, Sr, Sc, Be.

Как показывает рентгеноспектральная расшифровка (табл. 123) состава редких земель (ИМГРЭ), монациты щелочных сиенитов характеризуются высоким содержанием, кроме Ce, также La, Nd, Pr, Er, Tm, Yb.

В отличие от ортита, монацит концентрируется в богатых  $\text{Al}_2\text{O}_3$  лейкократовых разностях сиенитов.

Циркон-циртолит — (Zr, Hf, Th, TR, U)  $[\text{SiO}_4]$  иногда с  $\text{H}_2\text{O}$ . Химический состав:  $\text{ZrO}_2$ —67,0,  $\text{SiO}_2$ —30—33,  $\text{HfO}_2$ —0,5—4,  $\text{TR}_2\text{O}_3 + \text{Y}_2\text{O}_3$ —до 16,  $\text{ThO}_2$ —до 7,  $\text{U}_3\text{O}_8$ —1,5%. Из примесей встречаются Be, Nb, Sn, Al, Na и др.

Циркон встречается в виде хорошо образованных короткопризматических кристаллов, размером от 0,1 до 1 мм, редко 3 мм. Выделяется несколько разновидностей. В Мегринском комплексе: 1) темно-розовые короткопризматические, 2) бесцветные удлиненно-призматические и 3) серовато-бурые призматические (циртолит). В Тежсарском комплексе они более разнообразны: 1) красновато-розовые изометричные, 2) зеленоватые короткопризматические, 3) водяно-прозрачные удлиненно-призматические, 4) серовато-бурые, красно-коричневые призматические кристаллы (циртолит-малакон). Содержание циркона в Мегринском комплексе выше, чем в Тежсарском. Как правило, ассоциируют со сфеном, апатитом, флюоритом, реже бадделенитом и велеритом. Оптические константы обычны. Лишь у серовато-бурых разновидностей резко снижается показатель преломления и двупреломления.

Таблица 122

Химический состав монацита по данным спектральных анализов

Монациты	Содержание в весовых %												
	Mn	Pb	Sc	Y	La	Ce	Yb	Be	Th	U	Ca	Sr	Si
Тежсар	0,03	—	0,003	0,1	3	5	0,03	0,0003	0,3—1	0,1	0,3	—	0,5
Мегри	0,1	0,003	0,003	0,3—1	10	5	0,01	0,0003	3—10	0,1—0,3	0,03	0,003	0,3—1

Таблица 123

Состав лантаноидов в монаците из щелочного сиенита

Содержание редких земель в  $\Sigma TR_2O_3$ , принятой за 100%

$\Sigma TR_2O_3$	La	Ce	Nd	Pr	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Lu
62,3%	30,0	44,5	6,8	12,0	1,1	0,2	0,2	—	0,4	—	2,1	1,9	0,2	—

Межплоскостные расстояния и интенсивности Тежсарского циркона (табл. 124) очень близки к эталону по В. И. Михееву (1957).

Таблица 124

Рентгенометрическая характеристика циркона\*

I	d $\alpha$ /n	I	d $\alpha$ /n
7	4,43	5	1,473
1	4,20	6	1,376
10	3,29	4	1,360
1	2,64	1	1,287
10	2,510	2	1,265
2	2,334	3	1,107
2	2,208	2	1,100
7	2,068	4	1,059
5	1,911	4	1,048
1	1,743	3	1,041
9	1,710	2	0,970
6	1,642	3	0,897
1	1,544	4	0,833

\* Рентгенограмма выполнена в лаборатории ИГН АН Арм. ССР (Э. Х. Хуршудян). Условия съемки: Cu—Ni—антикатод, 2R=57,3 мм; экспозиция—12 ч.

Таблица 125

Химический состав цирконов\*

Окислы, вес. %	Тежсарский комплекс		Мегринский комплекс	
	Зеленые и бесцветные цирконы	Серо-бурые цирконы	Розовые цирконы	Бурые цирконы
SiO <sub>2</sub>	—	—	28,3	23,4
ZrO <sub>2</sub>	41,0	49,0	41,5	63,0
HfO <sub>2</sub>	0,45	0,67	0,49	2,55
$\Sigma$ TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,6	1,0	0,30	0,70
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3	1,0	1,0	3,0
ThO <sub>2</sub>	0,4	1—3	0,07	1,63
U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	0,042	0,1—0,3	0,04	3,0
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,30	0,3	0,01	0,1
Co, Al, Na	1—3	3—5	3,0	3—5

\* Химические определения Nb, TR, Y выполнены в химической лаборатории ИМГРЭ, Zr и Hf — в рентгеноспектральной лаборатории ГЕОХИ, U и Th — в АрмГУ.

Таблица 126

## Элементы-примеси в цирконах

Цирконы	Содержание в весовых %												
	Ti	V	Cu	Pb	Hf	Nb	Y	La	Ce	Yb	Be	Th	U
Т—розовый	0,03	—	0,001	—	0,3—0,5	—	0,3	—	0,1	1,0	0,0001	0,3	0,3
Т—зеленый	0,3	—	0,001	0,003	0,3—1	0,03	0,1	0,3	0,1	0,3—1	0,0001	0,5	0,3—1
Т—бурый	0,03	—	0,001	0,003	0,3—1	—	0,3—1	—	1,0	0,3—1	0,001	0,5—1	3
М—розовый	0,1—0,3	0,01—0,03	0,003	0,001	0,3	0,01	0,3	0,1	0,3	0,1	0,001	1,0	0,3
М—бурый	0,1	—	—	0,3	0,3—1,0	0,1	3—5	1—3	0,1—0,3	0,3—1	0,01	0,3—1	1—3

Химические анализы (табл. 125) различных морфогенетических разновидностей циркона из Тежсарского и Мегринского комплексов указывают на обогащенность их, особенно бурых—циртолитов—Hf, TR, Y, Th.

Помимо редких элементов, в цирконах встречаются также Ti, Al, Na, Ca и др., играющие роль компенсирующих элементов при гетеровалентном изоморфизме.

Для суждения о составе элементов-примесей выполнен ряд спектральных анализов (табл. 126), результаты которых сведены в таблицу (Т—обозначает Тежсар, М—Мегри).

Как видно из полуколичественных спектральных анализов, мегринские цирконы более обогащены U, Th, Y, Be, чем тежсарские. Кроме того, бурые цирконы по сравнению с прозрачными розовыми и зелеными разновидностями содержат больше урана, тория, ниобия, иттрия, иттербия, бериллия и гафния. Пегматитовые разности цирконов более обогащены этими элементами.

Торит —  $\text{ThSiO}_4$ . Химический состав:  $\text{ThO}_2$ —65—72,  $\text{SiO}_2$ —30—32,  $\text{U}_3\text{O}_8$ —до 10—16,  $\Sigma \text{TR}_2\text{O}_3$ —3—5,  $\text{H}_2\text{O}$ —15—18% и др.

Встречается в виде ярко-оранжевых, красновато-коричневых тетрагонально-призматических кристаллов, размерами от 0,1 мм до 1 см. В мегринских щелочных сиенитах более распространен, чем в тежсарских нефелиновых сиенитах. Ассоциирует с монацитом, ортитом, сфеном, цирконом, циртолитом и др. Сравнительно часто встречается в щелочных пегматитах.

Блеск жирный. В иммерсии просвечивает желтым цветом.  $N' = 1,724$ —1,745. Рентгенометрический анализ (табл. 127) показал близость к эталону по В. И. Михееву (1957).

Спектральным анализом в торитах установлены: Th—10, Ca—1,0, Zr—0,3—1,0, Fe—1—3, Pb—0,1—0,3, Be—0,001, Y—

Таблица 127

Рентгенометрическая характеристика торита\*

l	d/n	l	d/n
3	3,34	1	1,880
3	3,10	4	1,654
3	3,00	3	1,417
4	2,598	8	1,187
2	2,060	6	1,151
2	1,815	4	1,126

\* Рентгенограмма выполнена в лаборатории ЛГУ. Условия съемки: Cu—антикатод;  $2R = 86$  мм;  $2\theta = 0,77$  мм. Образец прокален при  $t = 850^\circ$ . 3 ч

0,3—1,0, U—0,1—0,3, Yb—0,1—0,3, Sc—0,01, Ce—0,3, P—0,3—1,0% и др.

Характерным для торита из щелочных пород является присутствие Ce, Yb, Y и других редких земель.

Бритолит  $(Ce, La, Nd, Ca)_5[(Si, P)O_4(F, O)]$ . Химический состав:  $TR_2O_3$ —52—62, CaO—14,  $SiO_2$ —15—22,8,  $P_2O_5$ —1—7, Th—1—20,  $Y_2O_3$ —3—19%. Установлен в нефелиновых сиенитах Тежсарского комплекса, в альбитизированных, богатых нефелином участках и пегматитах. Ассоциирует с меланитом, флюоритом, монацитом, пирохлором, велеритом и др. Образует желтые, желто-оранжевые гексагонально-призматические прозрачные кристаллы, размерами 0,1—0,25 мм. Одноосен, оптически отрицателен:  $N_g=1,738$ ,  $N_p=1,712$ ; иногда изотропен,  $N=1,73$ . Спектральным анализом в бритолите установлены: Ce > 10, La—3—5, Y—0,3—1,0, Th > 3,0, U—0,3—1,0, Nb—0,03, Zr—0,1, Yb—0,03, Ta—0,03, Sr—0,5%. Минерал был подвергнут рентгенометрическому анализу (табл. 128), что показало идентичность с бритолитом Е. И. Семенова (1963).

Таблица 128

Рентгенометрическая характеристика бритолита\*

l	$d\lambda/n$	l	$d\lambda/n$
2	3,34	6	1,941
3	3,26	5	1,892
4	3,16	4	1,800
10	2,895	5	1,771
2	2,806	3	1,565
2	2,315	2	1,541
2	2,112	5	1,485
1	2,080	2	1,263
6	1,994	3	1,139

\* Условия съемки: Cu—Ni—антикатод,  $2R=57,3$ ;  $d=0,5$ . Экспозиция 16 ч. Образец прокален 3 ч. при  $t=900^\circ$ .

\* \* \*

Кроме вышеописанных минералов, в щелочных пегматитах установлены также бериллиевые (хризоберилл, гадолинит), ураноториевые (уранинит, ураноторит, торинит), танталониобиевые (ильменорутил, фергусонит, эвксенит, самарскит, эшенит, виикит, мариньякит), редкоземельно-иттриевые (иттриалит, церит, роуландит, карноцерит, беккелит, паризит), литиевые (полилитионит) минералы.

# IV. ГЕОХИМИЯ РЕДКИХ И БЛАГОРОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

## 1. Селен и теллур

В периодической системе элементов селен и теллур расположены в шестой группе и принадлежат к триаде металлоидов: сера—селен—теллур (табл. 129).

Таблица 129

Некоторые физико-химические свойства серы, селена и теллура

Показатели и единицы измерения	Элементы		
	Сера	Селен	Теллур
Атомный номер	16	34	52
Атомный вес	32,06	78,96	127,61
Валентность	2 <sup>-</sup> , 4 <sup>+</sup> , 6 <sup>+</sup>	2 <sup>-</sup> , 4 <sup>+</sup> , 6 <sup>+</sup>	2 <sup>-</sup> , 4 <sup>+</sup> , 6 <sup>+</sup>
Радиусы ионов* (Å)			
R <sup>2=</sup>	1,82	1,93	2,11
R <sup>4+</sup>	—	0,69	0,89
R <sup>6+</sup>	—	0,35	0,56
Весовой кларк**	0,05	6·10 <sup>-5</sup>	1·10 <sup>-7</sup>

\* Ионные радиусы по Н. В. Белову и Г. Б. Бокию (1954).

\*\* Весовой кларк по А. П. Виноградову (1962), в%.

Селен и теллур являются характерными элементами руд колчеданной, медно-молибденовой, полиметаллической и золоторудной формаций. На месторождениях различных формаций руд содержание селена в сульфидов контролируется главным образом поведением серы ввиду того, что селен изоморфно замещает ее в решетках сульфидов и сульфосолей и не образует самостоятельных минералов.

Поведение теллура в постмагматических процессах резко отличается от селена. Теллур в рудах образует два типа концентраций:

а) в форме минералов (теллуридов), представляющих соединения теллура с золотом, серебром, висмутом, свинцом и др.;

б) в виде примесей в сульфидах, сульфосолях и т. д. Рассеянный («невидимый») теллур в рудообразующих сульфидах не образует повышенных концентраций, что, вероятно, обусловлено ограниченным изоморфизмом между серой и теллуrom (Н. Д. Синдеева, 1959).

На месторождениях колчеданной формации (Кафан, Шамлуг, Ахтала, Чибухлы, Тандзут и др.) селен и теллур представлены главным образом в виде рассеянной примеси. Содержания селена и теллура в медных и серноколчеданных рудах колеблются в пределах тысячных долей процента, достигая в отдельных случаях сотых долей процента (табл. 130). На Кафанском месторождении между концентрациями селена, меди и серы существует положительная корреляционная зависимость (Р. Н. Зарьян, 1963). На Чибухлинском серноколчеданном месторождении, по Д. Г. Чатиняну (1957), между содержаниями серы, селена и теллура наблюдается определенная взаимозависимость. Соотношения между селеном и теллуrom для руд месторождений колчеданной формации колеблются от 3:1 до 1:1.

Таблица 130

Среднее содержание селена и теллура в минералах месторождений колчеданной формации (по данным Р. Н. Зарьяна, Э. А. Хачатуряна, В. О. Пароникяна, Н. С. Хачатряна, Б. Д. Акопян и др.)

Месторождения, минералы, руды и концентраты	Кол-во хим. анализов	Среднее содержание, г/т		Отношение Se:Te
		Селен	Теллур	
1	2	3	4	5

**Кафанское**

Халькопирит	47	100	64	1,56:1
Пирит	32	92	48	1,92:1
Борнит	5	136	95	1,43:1
Сфалерит	6	81	1345	0,06:1
Энаргит	3	126	656	0,19:1
Галенит	3	117	1453	0,08:1
Халькозин	2	82	85	0,95:1
Алтаит	1	3000	—	—
Рядовая руда	3	17	17	1:1

1	2	3	4	5
<b>Чибухлинское (медное)</b>				
Пирит	17	160	47	3,4:1
Халькопирит	13	139	22	6,3:1
Медный концентрат	12	149	50	3,0:1
<b>Чибухлинское (серно-колчеданное)</b>				
Пирит	4	220	51	4,3:1
Рядовая руда	8	43	45	0,95:1
<b>Тандзутское</b>				
Пирит	2	185	27	7:1
Рядовая руда	5	101	33	3:1
<b>Шамлугское</b>				
Пирит	9	80	30	2,7:1
Халькопирит	8	42	41	1:1
Галенит	2	110	75	1,3:1
Сфалерит	2	47	не обн.	—
Рядовая руда	—	30	16	1,8:1
<b>Ахтальское</b>				
Пирит	3	170	27	6,3:1
Халькопирит	10	90	25	3,6:1
Сфалерит	6	160	50	3,2:1
Борнит	7	156	36	4,3:1
Галенит	2	110	75	1,3:1
Теннантит	3	147	63	2,3:1
Рядовая руда	—	25	10	2,5:1
<b>Агвинское</b>				
Пирит	8	326	66	5:1
Халькопирит	9	328	25	13:1
<b>Алавердское</b>				
Пирит	2	90	140	0,6:1
Халькопирит	3	127	120	1,05:1
Рядовая руда	—	35	18,5	1,8:1
<b>Палантекянское</b>				
Пирит	3	303	78	3,9:1

В гидротермальном процессе рудообразования отмечается общая тенденция накопления селена в продуктах медной и серноколчеданной стадий минерализации. На Кафанском месторождении повышенные содержания селена отмечаются в халькопиритах и пиритах медной стадии минерализации. Относительно повышенные содержания теллура характерны для халькопиритов и пиритов халькозин-борнитовой и особенно полиметаллической стадии минерализации. Наименьшими содержаниями теллура характеризуются сульфиды кварц-пиритовой стадии минерализации (рис. 57, 58).

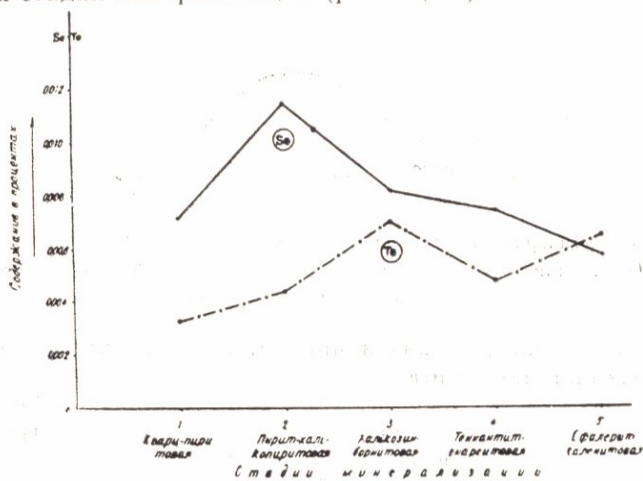


Рис. 57. Диаграмма изменения средних содержаний селена и теллура в халькопиритах по стадиям минерализации. Кафанское месторождение. По Р. Н. Зарьяну.

Среди минералов-носителей селена наиболее высокие содержания отмечаются в теллуридах, в частности в алтаите, что возможно объясняется изоморфизмом между двухвалентными ионами теллура и селена.

Одной из наиболее существенных черт геохимии теллура в рудах является то, что он в силу своих кристаллохимических свойств в весьма ограниченном количестве входит в кристаллические структуры сульфидов и сульфосолей. В связи с этим после выделения сульфидных минералов концентрация теллура в растворах повышается, и его дальнейшая судьба зависит от концентрации золота, серебра, висмута, свинца и других, с которыми он обнаруживает «относительное геохимическое сродство» (В. В. Щербина, 1937).

На Кафанском месторождении содержания селена и теллура

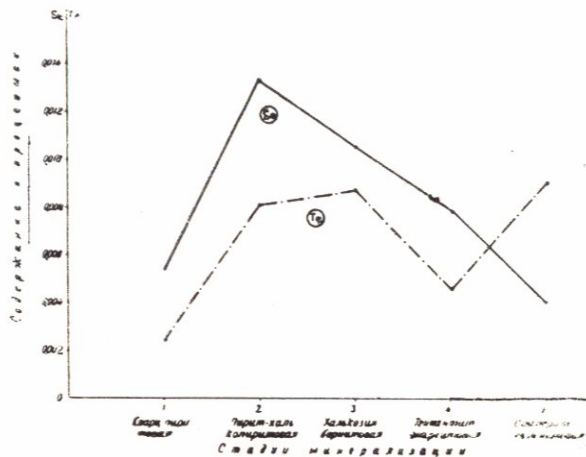


Рис. 58. Диаграмма изменения средних содержаний селена и теллура в пиритах по стадиям минерализации. Кафанское месторождение. По Р. Н. Зарьяну.

лура в экзогенных рудах и минералах, в отличие от эндогенных, резко падают (табл. 131).

Таблица 131

Содержание селена и теллура в гипергенных минералах Кафанского месторождения (по данным Р. Н. Зарьяна)

Руды и минералы	Кол-во хим. анализов	Среднее содержание, %		Отношение Se : Te
		Селен	Теллур	
Окисленная медная руда	2	0,0003	0,0005	0,6 : 1
Борнит	2	0,0017	0,0016	1,06 : 1
Халькозин	1	0,0014	следы	—
Ковеллин	1	0,0003	следы	—
Ярозит	1	0,0065	0,0032	2,03 : 1
Лимонит	1	0,0008	следы	—

В гипергенных минералах концентрируется незначительная часть селена, хотя в некоторые из них (ярозиты и др.) он может входить в заметных количествах в виде изоморфной примеси, замещая четырех- или шестивалентную серу. В окисленных рудах и гипергенных минералах месторождения уменьшается отношение селена к теллуру, что является ярким подтверждением большей миграционной способности первого по отношению ко второму. В зоне гипергенеза Кафанского мес-

торождения теллурид свинца—алтаит замещается данхёмитом, а данхёмит—церусситом; теллурид—теллурат-карбонатом (Р. Н. Зарьян, 1962).

Селен и теллур являются типичной примесью для руд месторождений медно-молибденовой формации (Каджаран, Агарак, Дастакерт и др.). Содержание селена в рудах колеблется от десятитысячных до тысячных долей процента. Теллур присутствует в рудах обычно в десятитысячных долях процента. Его наиболее высокие содержания приурочены к рудам полиметаллической стадии минерализации (до сотых долей процента).

Весовые соотношения между селеном и теллуrom для месторождений медно-молибденовой формации руд обычно варьируют от 1,5:1 до 5:1. Отношение селена к теллуру для руд Каджарана составляет 2:1, для Агарака—2,7:1, а для руд Дастакерта—1,5:1 (А. С. Фарамазян, Р. Н. Зарьян, 1964; Г. О. Пиджян, 1967).

В табл. 132 и на рис. 59, 60 приводится содержание селена и теллура в минералах медно-молибденовых месторождений.

Таблица 132

Среднее содержание селена и теллура в минералах месторождений медно-молибденовой формации (по Г. О. Пиджяну, А. С. Фарамазяну, Р. Н. Зарьяну)

Месторождения, рудопроявления и минералы	Кол-во хим. анализов	Среднее содержание, г/т		Отношение Se : Te
		Селен	Теллур	
1	2	3	4	5
<b>К а д ж а р а н</b>				
Молибденит	119	306	40	7,6 : 1
Халькопирит	79	172	57	3,0 : 1
Пирит	44	94	48	2,0 : 1
Галенит I	10	44	27	1,6 : 1
Галенит II	10	291	430	0,7 : 1
Сфалерит	13	47	51	0,9 : 1
Борнит	1	240	75	3,0 : 1
Блеклая руда	1	430	210	2,0 : 1
<b>Д а с т а к е р т</b>				
Молибденит	7	55	31	1,8 : 1
Халькопирит	12	76	37	2 : 1
Пирит	7	83	194	0,4 : 1
Сфалерит	3	26	21	1,2 : 1
Галенит	2	120	140	0,9 : 1
Борнит	1	140	90	1,5 : 1
Алабандин	2	30	1	30 : 1

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

### А н к а в а н

Молибденит	10	237	81	2,9 : 1
Халькопирит	8	114	28	4 : 1
Пирит	6	96	45	2 : 1
Сфалерит	2	24	37	0,6 : 1
Галенит	2	83	106	0,8 : 1

### А г а р а к

Молибденит	7	313	37	8,4 : 1
Халькопирит	6	102	32	3,2 : 1
Пирит	3	56	16	3,5 : 1

### Д ж и н д а р а

Молибденит	4	328	76	4,3 : 1
Халькопирит	7	187	121	1,5 : 1
Пирит	3	119	15	8 : 1

### А й г е д з о р

Молибденит	8	408	44	9,3 : 1
Халькопирит	4	115	121	0,9 : 1
Пирит	2	250	10	25 : 1

### К а п у т д ж у х

Молибденит	3	350	30	12 : 1
Халькопирит	2	180	60	3 : 1
Пирит	2	90	6	15 : 1
Галенит	1	240	50	5 : 1

На Каджаранском месторождении значительные содержания селена приурочены к продуктам кварц-молибденитовой, кварц-халькопирит-молибденитовой и кварц-халькопиритовой стадий минерализации. Наиболее повышенные концентрации теллура связаны с минералами кварц-пиритовой и особенно кварц-сфалерит-галенитовой стадий рудообразования. При многостадийном процессе рудоотложения отмечается повышение концентрации теллура от высокотемпературных стадий минерализации к низкотемпературным (фиг. 61).

Изучение распределения селена в минералах показало, что его наиболее высокие содержания, за исключением Дастакертского месторождения, приурочены к молибденитам.

Высокие содержания селена и теллура в поздних генерациях галенита, вероятно, обусловлены повышением концентрации этих элементов в остаточных растворах, чем, очевидно, и обусловлены сравнительно повышенные содержания селена в ассоциирующихся с галенитом теллуридах, образование которых происходило после всех сульфидов.

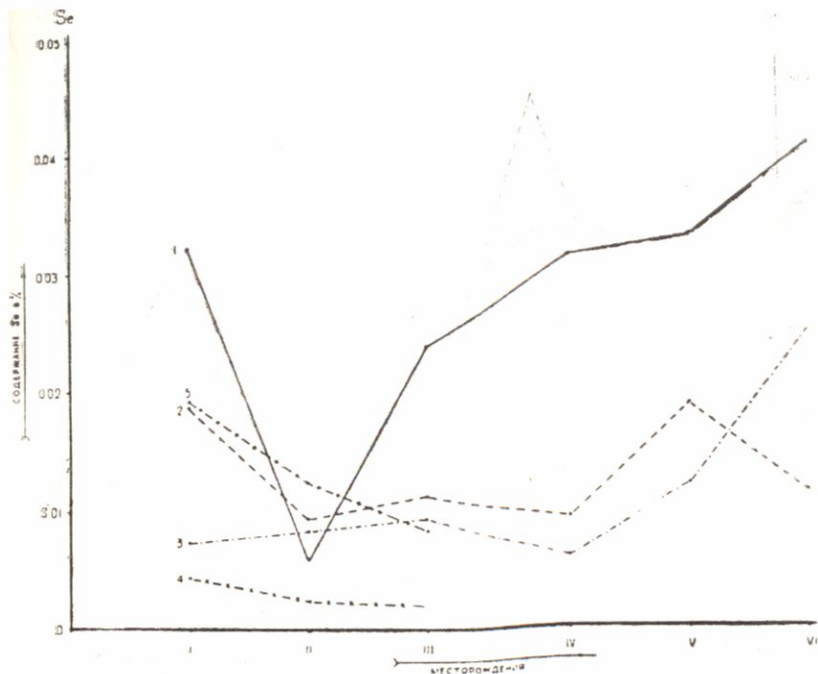


Рис. 59. Диаграмма изменения средних содержаний селена в молибденитах (1), халькопиритах (2), пиритах (3), сфалеритах (4) и галенитах (5) медно-молибденовых месторождений. I—Каджаран, II—Дастакерт, III—Анкаван, IV—Агарак, V—Джиндара, VI—Айгедзор. По Г. О. Пиджяну.

Анализ литературных материалов позволяет предполагать, что в структуре пиритов селен и теллур в виде спаренных анионов  $[\text{Se}_2]^{2-}$  и  $[\text{Te}_2]^{2-}$  изоморфно замещают серу.

В рудах Каджаранского месторождения отмечается корреляционная зависимость между содержаниями селена, серы и меди (рис. 62).

Изучение характера распределения селена и теллура в гипергенных минералах медно-молибденовых месторождений показывает, что эти элементы образуют сравнительно небольшие концентрации (табл. 133).

Отношение селена к теллуру для окисленных руд Каджарана составляет 1:1, а для Агарака—2:1. Падение концентрации селена в гипергенных минералах Каджаранского месторождения происходит в ряду: ярозит—повеллит—борнит—халькозин—ковеллин—лимонит—малахит—азурит.

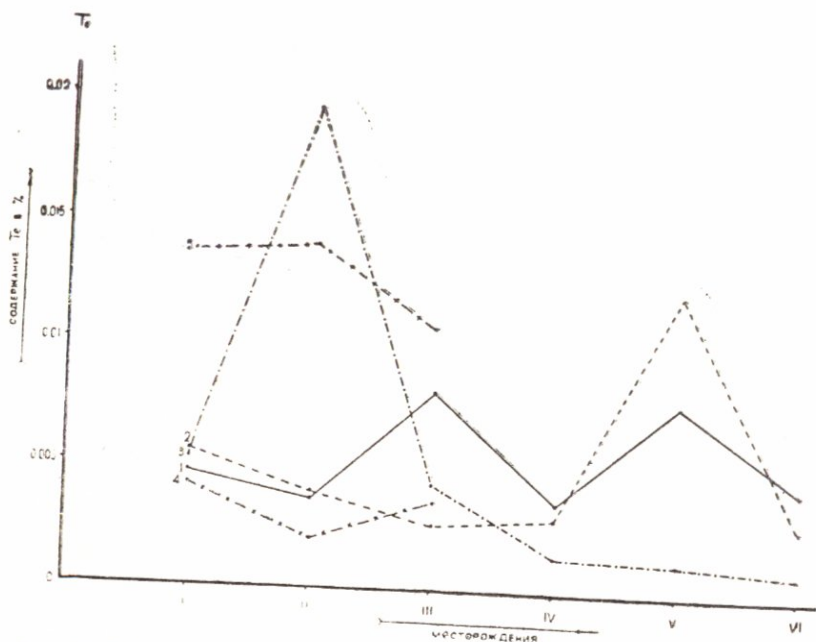


Рис. 60. Диаграмма изменения средних содержаний теллура в молибденитах (1), халькопиритах (2), пиритах (3), сфалеритах (4) и галенитах (5) медно-молибденовых месторождений. I—Каджаран, II—Дастакерт, III—Анкаван, IV—Агарак, V—Джиндара, VI—Айгедзор. По Г. О. Пиджяну.

Присутствие повышенных содержаний селена и теллура в ярозите, по-видимому, следует объяснить замещением этими элементами сульфатной серы в виде комплексных анионов  $[\text{SeO}_4]^{2-}$  и  $[\text{TeO}_4]^{2-}$ .

А. С. Фарамазяном на примере исследования концентрации S, Se и Te в молибденитах и повеллитах, а также в первичных рудах и рудничных водах было установлено, что миграционная способность в ряду сера—селен—теллур падает: если отношение S:Se:Te в первичных рудах составляет 2800:2:1, то в рудничных водах это отношение составляет 60000:14:1 (табл. 134).

В зоне гипергенеза месторождений колчеданной и медно-молибденовой формаций руд перенос селена и теллура, по-видимому, осуществляется в виде свободных кислот, легкорастворимых солеобразных соединений со щелочами и другими.

Во всех месторождениях полиметаллической формации руд (Газминское, Азатекское, Гюмушханское, Аткизское и

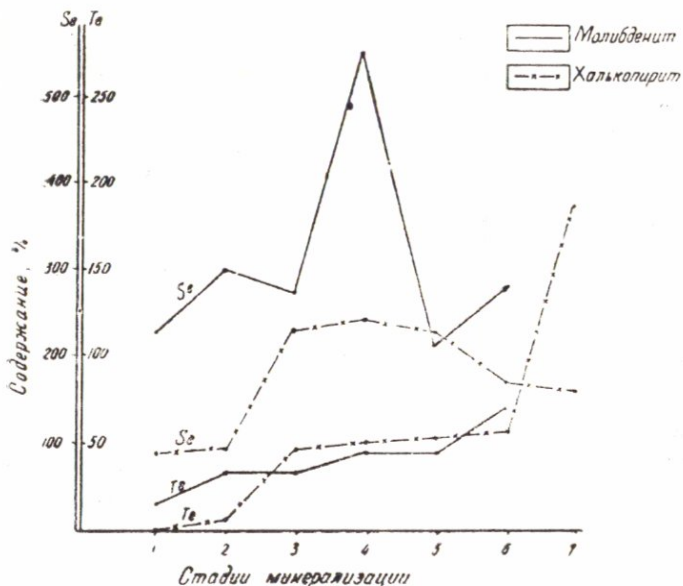


Рис. 61. Диаграмма изменения содержания селена и теллура в молибденитах и халькопиритах Каджаранского месторождения по стадиям минерализации. 1 — кварц-магнетитовая, 2 — кварц-полевошпатовая, 3 — кварц-молибденитовая, 4 — кварц-молибденит-халькопиритовая, 5 — кварц-халькопиритовая, 6 — кварц-пиритовая, 7 — кварц-сфалерит-галенитовая. По А. С. Фарамазяну и Р. Н. Зарьяну (1964).

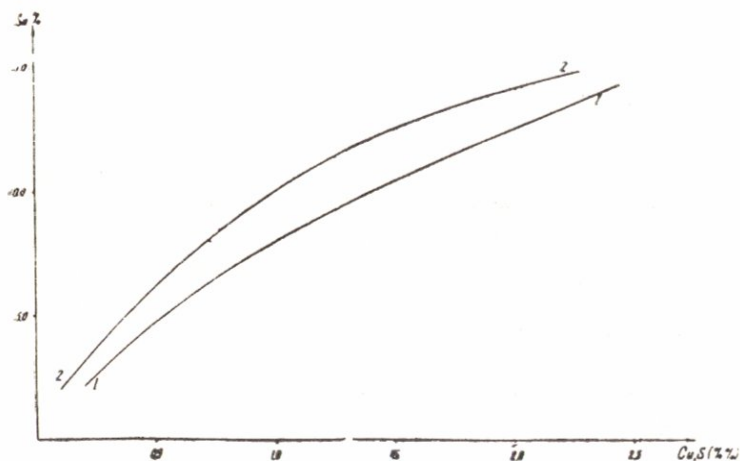


Рис. 62. Кривые зависимости содержаний селена от меди (1) и серы (2) по данным 65 химических анализов. Каджаранское месторождение. По А. С. Фарамазяну и Р. Н. Зарьяну (1964).

Содержание селена и теллура в гипергенных минералах медно-молибденовых месторождений (по Г. О. Пиджяну, А. С. Фарамазяну, Р. Н. Зарьяну)

Месторождения и минералы	Кол-во хим. анализов	Среднее содержание, г/т		Отношение Se:Te
		Селен	Теллур	
<b>К а д ж а р а н</b>				
Повеллит	3	49	14	3,5:1
Ярозит	2	125	20	6,2:1
Борнит	1	33	17	2,0:1
Лимонит	3	8	1	8:1
Малахит	1	5	4	1,2:1
Азурит	1	4	6	0,7:1
Халькозин	1	16	следы	—
Ковеллин	1	12	следы	—
Хризоколла	1	не обн.	не обн.	—
<b>А г а р а к</b>				
Малахит	1	20	55	0,3:1
Азурит	1	7	60	0,1:1
Гипс	1	10	30	0,3:1
Лимонит	1	10	30	0,3:1
Борнит с халькозином	1	22	6	3,6:1
<b>А н к а в а н</b>				
Малахит	1	8	912	0,01:1
Азурит	1	3	7	0,4:1
Лимонит	1	9	5	1,8:1
Халькозин с халькопиритом	1	140	90	1,5:1

Таблица 134

Результаты химических анализов рудничной воды (по А. С. Фарамазяну)

Наименование проанализированного материала	Содержание, ‰			Отношения S:Se:Te
	S	Se	Te	
Сухой остаток, ‰	6,14	0,0014	0,0001	60000:14:1
Пересчет на 1 л рудничной воды (мг/л)	2790	0,64	0,045	60000:14:1
Рядовая руда, поступающая на фабрику, ‰	1,15	0,0008	0,0004	2875:2:1

др.) селен присутствует в виде изоморфной примеси в решетках сульфидов и сульфосолей, в то время как теллур образует теллуриды свинца, висмута, серебра и золота.

Среднее содержание селена в халькопирите из ряда месторождений и проявлений достигает 153 г/т, в пирите—150 г/т. Содержание теллура в халькопиритах варьирует от следов до 0,0100%, в пирите—от следов до 0,0104%. Наиболее высокое содержание селена установлено в антимоните до 340 г/т. В сфалеритах концентрация селена и теллура колеблется от следов до 0,0045% (табл. 135).

Таблица 135

Среднее содержание селена и теллура в рудообразующих минералах месторождений полиметаллической и свинцово-цинковой формаций (по А. Г. Акопяну, В. О. Пароникяну, Н. С. Хачатряню, Б. Д. Акопяну).

Месторождения, проявления, минералы и руды	Кол-во хим. анализов	Среднее содержание, г/т		Отношение Se:Te
		Селен	Теллур	
1	2	3	4	5

### К а я л и н с к о е

Пирит	17	52	46	1,1:1
Галенит	13	53	51	1:1
Сфалерит	13	44	45	1:1
Халькопирит	13	53	46	1,1:1
Блеклая руда	10	47	64	0,7:1
Борнит	1	45	50	0,9:1
Арсенопирит	1	2	100	—

### Г а з м и н с к о е

Галенит	24	70	63	1,1:1
Сфалерит	17	30	35	0,8:1
Халькопирит	16	56	30	1,8:1
Пирит	15	25	41	0,8:1
Блеклая руда	9	67	67	1:1
Рядовая руда	—	4	4,5	0,9:1

### Г ю м у ш х а н с к о е

Галенит	15	41	44	0,9:1
Пирит	7	17	30	0,6:1
Халькопирит	6	33	43	0,8:1
Сфалерит	5	20	32	0,6:1
Блеклая руда	4	47	67	0,7:1
Айкинит	1	—	500	—

1	2	3	4	5
<b>Азатекское</b>				
Халькопирит	6	153	53	3:1
Пирит	4	150	30	5:1
Теннантит	2	115	90	1,2:1
Галенит	5	108	38	3:1
Тетраэдрит	2	100	80	1,2:1
Антимонит	4	340	22	1,5:1
Сфалерит	1	Следы	Следы	—
Рядовая руда	—	312	36	8:1
<b>Аткизское</b>				
Халькопирит	5	150	100	1,5:1
Пирит	9	47	104	0,45:1
Галенит	6	34	27	1,2:1
Сфалерит	5	27	27	1:1
<b>Привольненское</b>				
Галенит	1	100	100	1:1
Рядовая руда	2	8	8	1:1
<b>Джргалидзорское</b>				
Галенит	1	100	20	5:1
Пирит	2	38	Следы	—
<b>Мовсесское</b>				
Галенит	1	125	Следы	—
<b>Тодзы-булахское</b>				
Халькопирит	1	25	Следы	—
<b>Марцигетская группа</b>				
Сфалерит	1	16	Следы	—
<b>Чирахлинское</b>				
Сфалерит	1	8	Следы	—
Пирит	1	Следы	Следы	—

На Зодском золоторудном месторождении отношение селена к теллуру в рудах составляет 0,36:1. Содержания селена и теллура в рудах изменяются в зависимости от минерального состава и типа руд. Наблюдается положительная корреляционная зависимость между содержаниями золота и теллура. На месторождении в минералах концентрация селена возрастает в ряду: анкерит—сфалерит—пирит—антимонит—арсенопирит. В рудах месторождения селениды не установлены,

и, очевидно, селен в виде изоморфной примеси входит в состав сульфидов и теллуридов.

Основной формой нахождения теллура в рудах Зода является минеральная (теллуриды свинца, висмута, никеля, ртути, серебра, золота и меди).

В окисленных рудах встречаются вторичные минералы теллура—монтанит, теллурит, блэкеит и данхёмит.

Рассмотрение особенностей геохимии селена и теллура, закономерности их распределения в отдельных рудах и минералах месторождений Армянской ССР позволяет сделать следующие выводы:

1. Селен и теллур являются типичными редкими элементами для колчеданной, медно-молибденовой, полиметаллической и золоторудной формаций руд. Их содержания в рудах варьируют в пределах от десятитысячных до сотых долей процента.

2. Основные черты геохимии селена в месторождениях различных формаций определяются общностью кристаллохимических свойств селена и серы. Значительно более высокие содержания серы в растворах и широкий диапазон изоморфизма между серой и селеном явились неблагоприятным условием для образования селенидов.

Благодаря весьма ограниченному анионному изоморфизму между серой и теллуrom на месторождениях различных формаций создавались благоприятные условия для образования теллуридов.

Основными минералами-носителями селена и теллура являются халькопирит, молибденит, пирит, галенит, сфалерит и др. Наиболее высокие содержания селена отмечаются в теллуридах и молибдените.

3. На месторождениях различных формаций руд селен и теллур характеризуются неравномерным распределением. Максимальные содержания теллура отмечаются в продуктах полиметаллических стадий, а селена—в продуктах медных, медно-молибденовых и серноколчеданных стадий минерализации. В рудах между содержаниями селена и меди (Кафан, Каджаран и др.), селена и серы (Кафан, Каджаран, Тандзут и др.), теллура и золота (Зод) существует корреляционная зависимость.

4. Руды колчеданной, медно-молибденовой, полиметаллической и золоторудной формаций обладают высокими содержаниями селена и теллура. При наличии рациональной технологии извлечения они могут явиться сырьевой базой селена и теллура.

## 2. Рений

Рений относится к одному из сильно рассеянных элементов земной коры. Это объясняется тем, что он, имея довольно малый кларк по ряду физических и химических свойств, близок к сравнительно широко распространенным соседям периодической системы (W, Mo, Ta, Nb и др.). Кларк рения, по данным И. и В. Ноддак, составляет  $1 \cdot 10^{-7}$  %, по А. П. Виноградову, кларк рения в кислых изверженных породах составляет  $6 \cdot 10^{-7}$  %, а в основных породах  $6 \cdot 10^{-6}$  %. Радиус атома металлического рения в 12-й координации— $1,37 \text{ \AA}$  (Гольдшmidt, 1954), расчетный радиус иона  $\text{Re}^{4+}$ — $0,72 \text{ \AA}$  (Аренс, 1952) и  $\text{Re}^{6+}$ — $0,55 \text{ \AA}$  (Гольдшmidt, 1954) или  $0,52 \text{ \AA}$  (Г. Б. Бокий, 1960).

Установлено, что рений при ясно выраженных халькофильных свойствах накапливается также в редкоземельных силикатах в количестве  $10^{-6}$ — $10^{-4}$  % (И. и В. Ноддак, 1935).

В результате анализов многочисленных минералов И. и В. Ноддак предположили, что наиболее высокие содержания рения приурочены к молибденигам, которые повсеместно содержат рений в десятки раз больше, чем кларк. Это было объяснено, с одной стороны, сильным сходством рения с молибденом, а с другой—халькофильными свойствами рения.

До самого последнего времени, кроме молибденовых руд, не были известны какие-либо другие источники высокой концентрации рения. В 1959 г. работами Т. А. Сатпаевой и др. было установлено, что значительные концентрации рения приурочены к рудам Джекказганского месторождения типа медистых песчаников. Экспериментальными исследованиями с помощью электролиза и фазового химического анализа ренийсодержащих руд, Н. И. Разенковой и Е. Н. Поплавко (1963) установлено, что рений в рудах Джекказганского месторождения присутствует по крайней мере в трех формах: в виде тонкодисперсных выделений самостоятельных минералов, в качестве изоморфной примеси в сульфидах меди и в форме соединений легкорастворимых в воде. Первый и пока единственный минерал рения—джекказганит установлен в рудах Джекказганского месторождения (Л. М. Вишневская и др., 1961). По своему составу джекказганит, по неполным данным, является сульфидом, содержащим рения 40—50%, меди—15—20%, остальное, по-видимому, сера. Атомные отношения  $\text{Re}:\text{Cu}$  составляют  $\sim 1:1$ . Структура минерала не выяснена ввиду его рентгеноаморфности (Е. М. Поплавко и др., 1962).

Изучая различные молибдениты В. и И. Ноддак пришли к заключению об обязательном обогащении рением их высокотемпературных разностей пневматолитического происхожде-

ния. Такого же мнения придерживался А. Е. Ферсман (1939). Однако исследования последних 10—15 лет показали, что молибдениты среднетемпературных медно-молибденовых месторождений содержат рения до  $n \cdot 10^{-2}$  % и даже выше, тогда как молибдениты редкометалльных высокотемпературных месторождений содержат рения не более  $n \cdot 10^{-3}$  % (З. В. Студеникова, 1959; Н. А. Хрущов и др., 1960 и др.).

На основании анализа ряда образцов молибденита из месторождений различных генетических типов С. М. Баситовой в 1950 году был сделан вывод о повышении содержания рения от высокотемпературных к среднетемпературным. Это предположение подтвердилось исследованиями последующих лет, в частности по медно-молибденовым месторождениям Армении, Узбекистана и Казахстана (А. С. Фарамазян, 1961; С. Т. Бадалов и др., 1962 и др.).

Многочисленными химическими анализами руд, медных и молибденовых концентратов, а также мономинеральных фракций сульфидов установлено, что основным концентратом рения являются молибдениты, в то время как в других минералах содержание рения незначительно. Содержание рения в молибденитах различных месторождений колеблется в широких пределах, в интервале от 0,008 до 1,88%. В табл. 136 приведены пределы содержаний и средние содержания рения в молибденитах месторождений и рудопроявлений медно-молибденового пояса Армении, расположенные в порядке повышения содержаний.

Результаты анализов молибденитов показывают, что самые высокие содержания рения отмечаются в молибденитах Айюцзорского рудного района (Варденис, Элпин, Прошиберд, Газма) и рудопроявления Аравус (рис. 63). Эти месторождения и рудопроявления приурочены в основном к районам преимущественного развития сравнительно низкотемпературных (полиметаллического, свинцово-сурьмяного) типов оруденения, сформированных на небольших глубинах. Кроме того, образование некоторых из них (Варденис, Элпин) генетически связывается с близповерхностными, субвулканическими интрузиями андезитов и андезито-дацитов миоцен-плиоценового возраста.

Таким образом, наиболее высокие содержания рения отмечаются в молибденитах, образование которых происходило в условиях небольших глубин и сравнительно низких температур.

Интересно отметить, что рентгеноструктурными исследованиями Э. Х. Хуршудян (1966) было установлено наличие ромбоэдрического и гексагонального политипов молибденитов в различных месторождениях и рудопроявлениях, пред-

Содержания рения в молибденитах медно-молибденовых  
и молибденовых месторождений Армянской ССР

Месторождения, проявления	Кол-во анализов*	Содержание рения, %		Отноше- ние Mo : Re
		от—до	среднее	
Кефашен (скарновая полоса)	3	0,008—0,01	0,0095	6316 : 1
Дастакерт	3	0,013—0,03	0,022	2727 : 1
Анкаван	11	0,015—0,034	0,022	2727 : 1
Казан-лич	1	0,027	0,027	2222 : 1
Каджаран	129	0,019—0,243	0,0355	1700 : 1
Агарак	12	0,024—0,1	0,038	1580 : 1
Капутджих	2	0,03 —0,055	0,0425	1412 : 1
Джиндара	4	0,04 —0,085	0,07	857 : 1
Айгедзор	6	0,065—0,165	0,126	480 : 1
Гехи	1	0,22	0,22	273 : 1
Аравус	1	0,38	0,38	158 : 1
Прошиберд	2	0,39 —0,47	0,43	139 : 1
Элпин	1	0,45	0,45	133 : 1
Газма	1	0,70	0,70	86 : 1
Варденис	3	1,22 —1,88	1,66	36 : 1

\* Сводная таблица составлена по материалам А. С. Фарамазяна, Г. О. Пиджяна и Р. Н. Зарьяна.

ставленных в табл. 136. При этом если молибдениты месторождений верхней части таблицы (Кефашен—Капутджих) представлены преимущественно обычной гексагональной разновидностью—2Н, то в месторождениях нижней части таблицы (Джиндара—Варденис) преимущественное значение начинают приобретать политип 3R в смеси с 2Н, вплоть до выделения чистого политипа 3R в рудопроявлениях Прошиберд и Варденис. Таким образом, о повышении концентрации рения в молибденитах с падением температуры рудообразования, кроме общих геологических факторов, свидетельствует также постепенное повышение содержания молибденита—3R\* в рудах сравнительно низкотемпературных месторождений.

\* На этом основании А. С. Фарамазян и Э. Х. Хуршудян (1963) пришли к выводу о том, что наличие высоких содержаний рения в гидротермальных растворах способствует образованию политипа 3R. Однако дальнейшие исследования Э. Х. Хуршудян (1966) показали, что фактор высоких концентраций рения в растворах влияет на это лишь косвенным образом, ибо в рудах других месторождений спорадически были установлены чистые молибдениты—3R, в которых содержание рения не превышало 0,02—0,03%. Кроме того, экспериментальными работами Л. А. Арутюняна и Э. Х. Хуршудян (1966) было установлено, что молибденит—3R, независимо от содержания рения, образуется в условиях более низких температур, чем обычный гексагональный молибденит политипа 2Н.

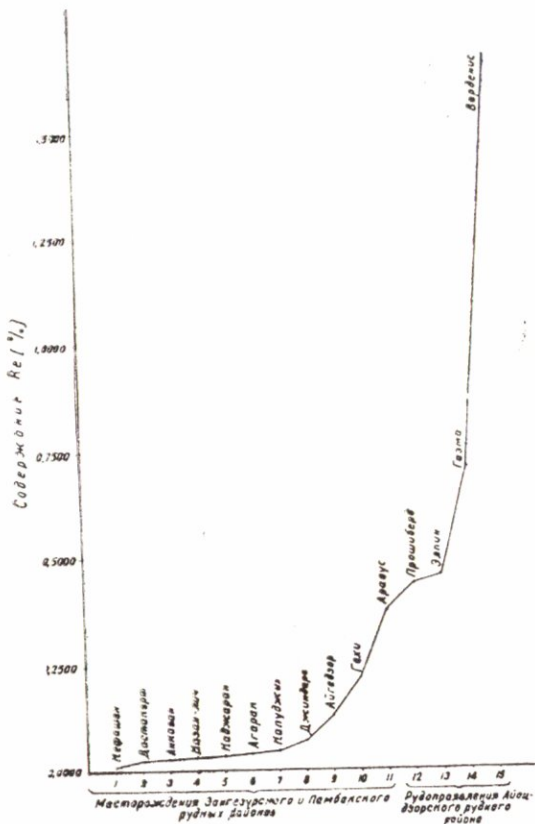


Рис. 63. Диаграмма изменения содержания рения в молибденитах различных месторождений (рудопроявлений) и рудных районов Армянской ССР. По А. С. Фарамазяну.

Обычно в медно-молибденовых и молибденовых рудах наблюдается корреляционная зависимость между содержанием молибдена и рения. В этом отношении исключение составляют руды Варденисского рудопроявления, где иногда такая зависимость не наблюдается. В некоторых изученных пробах руд Варденисского проявления содержание рения в несколько раз превышает молибден: при среднем содержании молибдена 0,01% (результаты по трем пробам) среднее содержание рения составляет 0,024%, т. е. отношение Mo:Re составляет 1:2,4 (А. С. Фарамазян и А. Г. Акопян, 1963). Подобные соотношения молибдена и рения в рудах Варденисского проявления позволили И. Г. Магакьяну предположить возможность наличия в этих рудах самостоятельных минералов рения.

Из других закономерностей распределения рения в молибденитах следует отметить установленную Г. О. Пиджяном, на примере Каджаранского месторождения, следующую особенность: как правило, крупночешуйчатые молибдениты несут более высокие концентрации рения, чем мелкочешуйчатые.

Особенности геохимии рения наиболее детально изучены по Каджаранскому медно-молибденовому месторождению (А. С. Фарамазян, 1961). В результате было установлено, что максимальные содержания рения приурочены к молибденитам средних стадий минерализации: кварц-молибденитовой и, особенно кварц-молибденит-халькопиритовой (в среднем 0,07—0,08%), в то время как молибдениты ранних и заключительных стадий минерализации содержат в среднем 0,025—0,035% рения (рис. 64). В связи с отложением главной массы молиб-

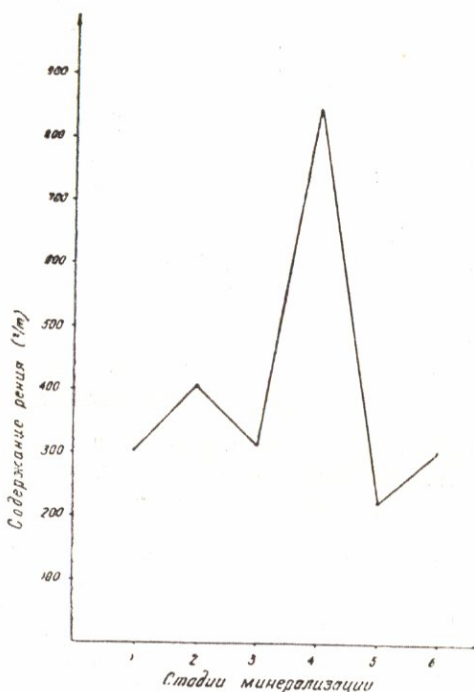


Рис. 64. Диаграмма изменения содержания рения в молибденитах Каджаранского месторождения по стадиям минерализации: 1—кварц-магнетитовая, 2—кварц-полевошпатовая, 3—кварц-молибденитовая, 4—кварц-молибденит-халькопиритовая, 5—кварц-халькопиритовая, 6—кварц-пиритовая. По А. С. Фарамазяну.

дена в кварц-молибденитовую и кварц-молибденит-халькопиритовую стадии минерализации баланс распределения рения в молибденитах по стадиям такой: примерно 60% рения (и 70% молибдена) отложено в кварц-молибденитовую стадию, 30% рения (и 15% молибдена) в кварц-молибденит-халькопиритовую стадию и остальные 10% рения (и 15% молибдена) во все остальные стадии минерализации.

Характер распределения рения в других минералах руд медно-молибденовой формации изучался на примере Каджаранского и Дастакертского месторождений (табл. 137). По этому вопросу, из-за малой чувствительности точности химических анализов и низкого содержания рения в анализируемых пробах, сложились два мнения.

Одни (С. С. Акмаева, В. И. Луценко, 1960) считают, что рений в медно-молибденовых рудах связан исключительно с молибденитом, а обнаруживаемые незначительные содержания рения в других минералах обусловлены механической примесью молибденита; другие—И. Г. Магакян и др. (1963)—считают, что незначительные содержания рения рассеяны также в халькопирите, пирите и других сульфидах руд.

Как следует из данных анализов (табл. 137), отношение  $Mo:Re$  в большинстве случаев на порядок ниже, чем в молибденитах соответствующих месторождений. Кроме того, иногда рений устанавливается в пробах, где молибден вообще отсутствует. Это позволяет предполагать, что минералом-носителем рения не всегда является молибденит и, по-видимому, помимо молибденита, рений связан также с другими сульфидами. С другой стороны, спорадическое содержание рения в халькопиритах и пиритах позволяет предполагать, что рений не связан ни с одним из указанных сульфидов, а представлен тонкодисперсными выделениями самостоятельных минералов.

Вопросы формы нахождения рения в молибденитах были изучены методами рентгенографического анализа (А. С. Фарамазян, Э. Х. Хуршудян, 1963). Результаты этих исследований показали, что рений в молибденитах рассеян преимущественно в виде изоморфной примеси. Было установлено, что вхождение рения в структуру молибденита уменьшает параметр  $c$  элементарной ячейки, несколько не влияя на параметр  $a=3,16 \text{ \AA}$  (табл. 138, рис. 65).

Формы нахождения рения в молибденитах Каджаранского месторождения были изучены также методом водных вытяжек. В последних, как следует из табл. 139, по сравнению с молибденитом, отношение  $Mo:Re$  уменьшается от 2 до 6 раз, т. е. концентрация рения по отношению к молибдену возрастает. Количество перешедшего в раствор рения колеблется от 0,5 до 2,5%. Эти результаты позволяют предполагать, что не-

## Содержания рения и молибдена в сульфидах Каджаранского и Дастакертского месторождений\*

Месторождение, наименование минерала	Содержание, г/т		Отношение Mo : Re	Автор
	Mo	Re		
<b>Каджаран</b>				
Халькопирит	300	1,0	300 : 1	А. С. Фарамазян
"	700	0,7	1000 : 1	"
"	Сл.	Не обн.	—	"
"	1000	1,0	1000 : 1	"
"	340	Не обн.	—	"
"	400	0,5	800 : 1	"
"	300	2,0	150 : 1	Г. О. Пиджян*
"	Не обн.	2,0	—	"
"	100—300	1,0	200 : 1	"
"	Не обн.	2,0	—	"
"	1000	Не обн.	—	"
"	125	Не обн.	—	Р. Н. Зарьян
"	80	0,16	500 : 1	"
"	65	Не обн.	—	"
Пирит	Сл.	Не обн.	—	А. С. Фарамазян
"	60	Не обн.	—	"
"	80	0,8	100 : 1	"
"	400	0,6	660 : 1	"
"	—	0,4	—	"
"	—	0,3	—	"
"	10	Не обн.	—	Г. О. Пиджян
"	Не обн.	1,0	—	"
Сфалерит	40	Не обн.	—	А. С. Фарамазян
Галенит	10	Не обн.	—	"
"	40	Не обн.	—	"
<b>Дастакерт</b>				
Халькопирит	100	Не обн.	—	Г. О. Пиджян
"	Не обн.	Не обн.	—	"
"	Не обн.	0,7	—	"
"	100	1,4	71 : 1	"
"	Не обн.	Не обн.	—	"
"	100	0,8	125 : 1	"
Пирит	Не обн.	Не обн.	—	"
"	Не обн.	1,0	—	"
"	30	1,0	30 : 1	"
"	Не обн.	0,2	—	"
"	Не обн.	1,0	—	"
"	Не обн.	1,6	—	"
"	1000	1,6	625 : 1	"
Алабандин	32	Не обн.	—	"

\* В анализах Г. О. Пиджяна определение Мо производилось методом полуквантитативной спектроскопии.

Изменение параметра  $c$  элементарной ячейки молибденитов  
в зависимости от содержания рения  
(по А. С. Фармазяну и Э. Х. Хуршудян, 1963)

Месторождение (рудопоявление)	Политип	Содержание рения, %	Параметр $c$ $\pm 0,001 \text{ \AA}$
Китай	2H	0,0002	12,300
Агарак	2H	0,035	12,288
Каджаран	2H	0,16	12,285
Гехи	2H	0,22	12,265
Аравус	3R > 2H	0,38	12,255*
Элпин	3R >> 2H	0,45	12,251*
Прошиберд	3R	0,47	12,245*
Варденис	3R	1,88	12,233*

\* Для молибденитов—3R и смесей 2H с 3R расчет параметра  $c$  производился по графику гексагональной решетки.

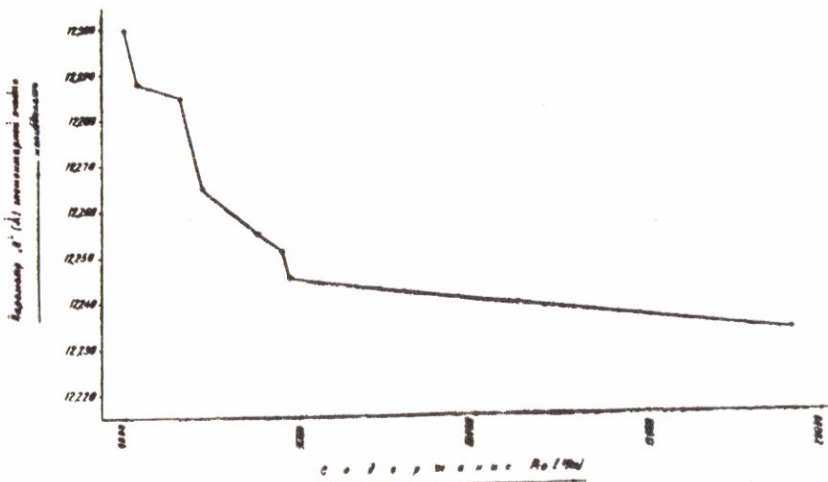


Рис. 65. График изменения параметра  $c$  элементарной ячейки молибденита в зависимости от содержания рения. По А. С. Фармазяну и Э. Х. Хуршудян.

большая часть рения в молибденитах находится в форме легкорастворимых в воде соединений, которые в гипергенных условиях могут выщелачиваться грунтовыми водами и выноситься за пределы месторождений. Природа их происхождения в настоящее время совершенно неясна.

Результаты определения рения и молибдена в водных вытяжках молибденитов

Краткая характеристика пробы, и место ее взятия	Содержание, ‰				Отношение Mo:Re		Количество рения, пере- шедшего в раствор, ‰
	Молибденит		Водная вытяжка		Молиб- денит	Водная вытяжка	
	Молибден	Рений	Молибден	Рений			
Крупночешуйчатый молибденит из кварц-молибденитового прожилка. Образец взят с карьера, уступ 2235	58,01	0,029	0,021	0,000062	2000 : 1	323 : 1	2,0
Крупночешуйчатый молибденит из кварц-молибденит-халькопиритового прожилка. Образец взят с карьера, уступ 2220	56,79	0,064	0,038	0,000078	887 : 1	487 : 1	1,2
Крупночешуйчатый молибденит из кварц-молибденит-халькопиритового прожилка. Образец взят с карьера, уступ 2220	53,03	0,19	0,013	0,000099	279 : 1	131 : 1	0,5
Крупночешуйчатый молибденит из кварц-халькопирит-молибденитового прожилка. Образец взят из шт. 36 (2025)	58,84	0,063	0,02	0,000078	933 : 1	256 : 1	1,2
Крупночешуйчатый молибденит из кварц-полевошпатового прожилка. Образец взят из шт. 38 (2075)	58,02	0,023	0,04	0,000052	2523 : 1	770 : 1	2,5

Для изучения поведения рения в процессах гипергенеза были изучены окисленные руды, повеллит и некоторые другие минералы зоны окисления (лимонит, ярозит). Как в рудах, так и в лимоните и ярозите рений не был обнаружен в пределах чувствительности анализа, хотя во всех пробах устанавливались незначительные содержания окисленного молибдена.

Для изучения поведения рения в зоне окисления наибольший интерес представляет повеллит—вторичный, гипергенный, минерал молибдена. Повеллит в рудах Каджаранского месторождения встречается близ поверхности в кварцевых жилах или прожилках, подвергшихся окислительным процессам. Представлен исключительно в виде листоватых псевдоморфоз по первичному, обычно крупночешуйчатому молибдениту. Окраска не постоянная, однако различно окрашенные разности по составу не отличаются. И в шлифах, и макроскопически во внутренних частях листоватых агрегатов обычно отмечаются реликты молибденита, так что гипергенное происхождение повеллита не вызывает сомнения. Для исследования был произведен фазовый анализ трех проб с различной степенью окисленности молибденита. Анализ произведен на содержание  $Mo^{4+}$ ,  $Mo^{6+}$ ,  $Re^{4+}$ ,  $Re^{6+}$  и нерастворимый остаток (кварц). Результаты анализа (табл. 140) показали, что пути миграции молибдена и рения в зоне окисления в основном расходятся, ибо концентрация рения в повеллите, в отличие от первичного молибденита, уменьшается почти в 50—60 раз.

С целью изучения путей миграции рения в гипергенных условиях из шт. «Капитальная» (наиболее нижний горизонт) была взята сборная проба рудничной воды объемом 80 л\*. Проба воды была выпарена на водяной бане и сухой остаток проанализирован на содержание Mo и Re (табл. 141).

При сравнении отношений Mo:Re в первичной руде и молибденитах (1800:1—2000:1) с соответствующими отношениями в повеллите (100000:1) и рудничной воде (200:1) устанавливается, что концентрация рения по отношению к молибдену в повеллите уменьшается более чем в 50 раз, тогда как в рудничной воде повышается в 9—10 раз.

Такое поведение рения в зоне окисления, по-видимому, обусловлено следующим. При окислении молибдена, очевидно, окисляется и рений, незначительная часть которого в начале

---

\* Рудничные воды Каджаранского месторождения причисляются к группе слабощелочных—нейтральных с  $pH=7,8-7,0$ , по химизму относятся к гидрокарбонатно-кальциевым небольшой минерализации (Н. И. Долуханова, 1958).

Таблица 140

## Результаты фазового анализа окисленных молибденитов

Краткая характеристика образца (пробы)	Содержание, %					Сум- ма, %	Re в связи с сульфид- ным молибденом		Re в связи с окислен- ным молибденом	
	Mo <sup>4+</sup>	Mo <sup>6+</sup>	Нераств. остаток	MoS <sub>2</sub>	CaMoO <sub>4</sub>		Содержание	Отношение Mo : Re	Содержание	Отношение Mo : Re
Проба представлена преимущественно повеллитом	0,45	42,55	9,43	0,75	88,73	98,91	—	—	0,0005	85100 : 1
Смесь повеллита и молибденита	28,41	21,18	7,32	47,35	44,16	98,83	0,0200	1420 : 1	0,0002	105900 : 1
Проба представлена преимущественно молибденитом	57,31	0,74	1,81	95,53	1,54	98,88	0,0360	1590 : 1	—	—

Содержание молибдена и рения в сухом остатке рудничной воды

	Содержание		Отношение Mo : Re
	Mo	Re	
Сухой остаток, ‰	0,099	0,0005	200 : 1
Пересчет 1 л рудничной воды, мг/л	0,45	0,0023	200 : 1

процесса окисляется до  $Re^{6+}$  и в виде труднорастворимых солей рената  $[ReO_4]^{2-}$  осаждается совместно с повеллитом. Значительная часть рения окисляется до  $Re^{7+}$  и выносится рудничными водами, ибо комплексный анион рената  $[ReO_4]^{2-}$  в присутствии кислорода легко окисляется в перренат  $[ReO_4]^{1-}$ , характеризующийся большой растворимостью солей. Поэтому, легко растворимые соли перрениевой кислоты, не задерживаясь в зоне окисления, выносятся за пределы месторождения. Кроме того, наблюдаемое в рудничных водах повышение концентрации рения по отношению к молибдену, очевидно, обусловлено еще и тем, что часть окисленного молибдена в виде повеллита, ферримолибдита и особенно молибденоносного лимонита и ярозита задерживается в зоне окисления, в силу чего соотношения между рением и молибденом сильно изменяются.

Геохимические особенности рения были изучены также в колчеданном типе руд в месторождениях Кафан, Шамлуг и Ахтала. Исследованиями Р. Н. Зарьяна (1964) было установлено, что рений в рудах Кафанского месторождения является характерным элементом и рассеян в сульфидах, главным образом халькопирите в содержаниях, находящихся на пределе чувствительности химических анализов (табл. 142). Тем не менее, сравнивая эти содержания с кларком, обнаруживается, что концентрация рения в рудах колчеданных месторождений Армянской ССР в десятки и сотни раз выше таковых в породах, т. е. в процессах эндогенного рудообразования в поведении рения сильнее выявляются халькофильные свойства.

Распределение рения в валовой руде и сульфидах весьма неравномерное и никак не коррелируется с содержанием молибдена, в связи с чем связывать устанавливаемые незначительные содержания рения с молибденом не приходится.

Содержания молибдена и рения в рудах и сульфидах некоторых колчеданных месторождений (по А. С. Фарамазяну)

Месторождение, наименование пробы	К-во ана- лиз	Содержание, г/т				Отношение Mo:Re
		Молибден		Рений		
		от—до	среднее	от—до	среднее	
<b>Кафан</b>						
Халькопирит*	5	3,0—8,0	5,0	0,5—1,8	1,08	5:1
Пирит*	1	68,0	68,0	0,2	0,2	340:1
Энарцит*	1	73,0	73,0	Не обн.	Не обн.	—
Сфалерит*	2	56,0—60,0	58,0	Не обн.—0,03	0,015	3863:1
Галенит*	1	140,0	140,0	Не обн.	Не обн.	—
Халькопирит	14	Не обн.—12,0	5,5	Не обн.—1,0	0,3	18:1
Пирит	3	2,4—5,0	4,1	Не обн.—0,4	0,13	32:1
Борнит	2	2,4—8,0	5,2	0,2—0,3	0,25	21:1
Энарцит	1	6,0	6,0	Не обн.	Не обн.	—
Сфалерит	4	1,2—6,0	3,6	Не обн.—0,25	0,06	60:1
Галенит	2	10,0—18,0	14,0	Не обн.	Не обн.	—
Штуф серноколчеданной руды	2	Не обн.—4,8	2,4	Не обн.—0,3	0,15	16:1
Штуф медноколчеданной руды	18	Не обн.—8,0	2,6	Не обн.—0,8	0,22	12:1
Штуф полиметаллической руды	5	1,2—16,0	7,0	Не обн.—0,2	0,04	175:1
<b>Ахтала, Шамлуг</b>						
Пирит	1	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	—
Халькопирит	8	Не обн.—10,0	3,0	Не обн.—0,3	0,26	12:1
Сфалерит	4	1,2—4,8	5,0	Не обн.—0,2	0,05	100:1
Галенит	1	12,0	12,0	Не обн.	Не обн.	—
Штуф полиметаллической руды	3	18,0—21,2	19,7	Не обн.—0,24	0,08	246:1
Штуф медноколчеданной руды	6	Не обн.—7,8	4,4	Не обн.—0,40	0,20	22:1
Свинцовый концентрат	2	96,0—110,0	103,0	Не обн.—0,3	0,15	686:1
Цинковый концентрат	2	80,0—100,0	90,0	Не обн.—0,4	0,2	450:1
Медный концентрат	2	46,0—60,0	53,0	0,30—0,58	0,44	120:1

\* Анализы, заимствованные из работы Р. Н. Зарьяна (1964).

В отношении формы нахождения можно предположить, что рений эндокриптно рассеян в сульфидах, хотя не исключается возможность наличия редких минералов, несущих достаточно высокие концентрации рения. Последнее предположение следует из факта, что содержания рения в изученных пробах рудных штуфов, медных концентратов, а также мономинеральных сульфидов находится в пределах одного порядка.

На основании обобщения большого фактического материала многолетних исследований по изучению геохимических особенностей рения в рудных месторождениях Армянской ССР можно сделать следующие выводы.

1. Рений является одним из характерных редких элементов многих рудных месторождений Армянской ССР. Его содержания в рудах колеблются в широких пределах, превышая кларк в сотни и тысячи раз. Результаты исследований последних лет позволяют значительно расширить площадь рениеносной геохимической провинции Армянской ССР, включив в нее также Алаверди-Кафанскую структурно-металлогеническую зону.

2. Главным минералом-концентратом рения является молибденит, где его содержания колеблются в широких пределах как для отдельных месторождений и рудопроявлений, так и для молибденитов отдельных стадий минерализации одного и того же месторождения, т. е. распределение рения в месторождениях весьма неравномерное. Установлено, что наиболее высокими содержаниями рения характеризуются молибдениты средних стадий минерализации. Исключительно высокие содержания рения обнаруживаются в молибденитах Айюцзорского рудного района (рудопроявления Варденис, Газма, Элпин, Прошиберд), а низкие—Кефашенского скарнового месторождения. С точки зрения условий рудообразования, наиболее высокие содержания рения отмечаются в молибденитах сравнительно низкотемпературных месторождений, т. е. содержание рения в молибденитах зависит от геологических условий образования и обычно повышается с понижением температуры образования руд.

3. В медно-молибденовых и молибденовых рудах между содержаниями рения и молибдена отмечается корреляционная зависимость: с повышением содержания молибдена в руде, обычно, повышается и содержание рения. В этом отношении исключение составляют руды Варденисского рудопроявления, где в отдельных пробах руд содержание рения в несколько раз превышает молибден. Такое соотношение молибдена и рения позволяет предполагать возможность наличия в этих рудах самостоятельных минералов рения. В других суль-

фидах медно-молибденовых месторождений (пирит, халькопирит и др.) содержание рения не подчиняется никакой закономерности, что позволяет предполагать в них наличие тонкодисперсных выделений самостоятельных соединений рения или молибдена.

4. Рентгеноструктурными исследованиями установлено, что в молибденитах рений рассеян преимущественно в виде изоморфной примеси. При этом повышение содержания рения в молибдените ведет к постоянному, непропорциональному уменьшению параметра  $c$  кристаллической решетки, не изменяя параметр  $a=3,16 \text{ \AA}$ . Кроме того, водными вытяжками установлено, что часть рения (до 2,5%) в молибденитах находится в виде легкорастворимых в воде соединений и вымывается при процессах обводнения руд.

5. В процессе окисления руд рений, как и молибден, окисляется до высшей валентности ( $\text{Re}^{7+}$ ), но в отличие от молибдена в виде легкорастворимых перренатов полностью выносятся за пределы месторождения.

6. Исследованиями руд колчеданной формации (медно-колчеданной, серноколчеданной и полиметаллической) Алаверди-Кафанской структурно-металлогенической зоны установлены незначительные (до 1,8 г/т) содержания рения, вне какой-либо зависимости от содержания молибдена. При этом отмечено, что рений в этих рудах распределен весьма неравномерно: почти аналогичные содержания и характер распределения наблюдаются во всех продуктах руд (мономинеральные фракции, концентраты, рудные штуфы и др.). Такое поведение рения позволяет предполагать наличие в этих рудах тонкодисперсных выделений редких минералов, несущих достаточно высокие концентрации рения.

### 3. Германий

Занимая место между кремнием и оловом, германий характеризуется промежуточными свойствами между металлами и неметаллами.

Наличие четырех электронов в наружном слое атома определяет высшую валентность (положительную и отрицательную). Двухвалентные соединения германия менее устойчивы, они могут существовать лишь в сильно восстановительных условиях. Размер радиуса иона двухвалентного германия ( $0,73 \text{ \AA}$ ) по Л. Аренсу (1952) очень близок к размерам соответствующих ионов цинка и железа ( $0,74 \text{ \AA}$ ), что и определяет геохимическое сходство этих элементов. У четырехвалентного германия ионный радиус ( $0,53 \text{ \AA}$ ) приближается к ионным радиусам  $\text{Si}^{4+}$ ,  $\text{As}^{4+}$ ,  $\text{Ga}^{3+}$ ,  $\text{Sb}^{5+}$ .

Не менее важное значение имеют для геохимии германия другие кристаллохимические константы и в особенности атомный объем 13,2 (Джонсон, 1956), радиус атома—1,39 Å, ВЭК (2,63) (Ферсман, 1934) и потенциал ионизации.

До последнего времени весовой кларк германия в земной коре считался равным  $7 \cdot 10^{-4}$  %. Сейчас эта цифра считается завышенной. В 1956 г. Х. Ониши кларк германия в литосфере определил равным  $1,5 \pm 0,5 \cdot 10^{-4}$  %. Характер распространения и условия концентрации германия еще недостаточно исследованы. По данным изучения метеоритов, германий обладает более сидерофильным свойством, в магматическом этапе преобладают литофильные свойства, а в гидротермальном—халькофильные. В литосфере основная масса германия рассеяна в силикатах, по-видимому, в форме изоморфной примеси, замещающая в них кремний.

Наибольшие концентрации германия связаны с собственно гидротермальным этапом минерализации, где он представлен в виде изоморфной примеси в сульфидных минералах и лишь очень редко образует собственные минералы—германит, реньерит и др.

Германий в том или ином количестве установлен во многих типах руд Армянской ССР. В колчеданных месторождениях (табл. 143) руды ранних стадий—серноколчеданной и медноколчеданной, характеризуются низкими содержаниями германия (1—3 усл. ед.). Более высокие концентрации (20—30 усл. ед.) связаны с последующими медно-мышьяковой и полиметаллической стадиями минерализации. Медно-мышьяковые руды Кафанского месторождения, представленные преимущественно энаргитом, теннантитом, халькозинном, халькопиритом и борнитом, содержат в среднем 15—20 усл. ед. германия, основная часть которого входит в состав энаргита. Сравнительно обогащены германием также борнит, теннантит, халькопирит. Некоторая часть германия представлена собственными акцессорными минералами—разновидностями германита и реньерита, развитыми главным образом в полях борнита и теннантита.

На Ахталском месторождении медно-мышьяковые руды имеют слабое развитие и представлены борнитом, теннантитом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом и минералами серебра. Германий в них содержится в количестве до 40—50 усл. ед., часть которого в виде изоморфной примеси входит в состав теннантита и других минералов, а другая часть образует собственные минералы.

Основная масса германия колчеданных месторождений связана с полиметаллическими рудами, в которых он в виде изоморфной примеси входит в состав сфалерита. Наблюдают-

Содержания германия\* в главнейших рудных минералах колчеданных месторождений Армянской ССР (по данным А. И. Карапетяна, В. О. Пароникяна, Э. А. Хачатуряна)

Минералы	Ахталское		Кафанское		Шаумян-Халаджское		Шамлугское		Алавердское		Тандзуг-Чибухлинское	
	от—до	среднее	от—до	среднее	от—до	среднее	от—до	среднее	от—до	среднее	от—до	среднее
Пирит	Не обн.—5	0,8	Не обн.—2	0,5	Не обн.—4	1,2	Не обн.—1	0,5	Не обн.—1	0,5	Не обн.—2	0,5
Халькопирит	1—44	3	Не обн.—16	2,2	Не обн.—2	1	Не обн.—3	1,8	0,8—3,5	2,5	Не обн.—3	1,2
Борнит	1—320	7	Не обн.—22	3	—	—	—	—	—	—	—	—
Халькозин	Не обн.	—	Не обн.—7	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—
Сфалерит	10—100	25	Не обн.—3000	12	3—30	8	3—300	20	10—100	15	Не обн.	—
Галенит	Не обн.—1,2	0,6	Не обн.—1	0,5	Не обн.—2	1,3	Не обн.—2	0,5	Не обн.—1,5	0,8	3—10	6
Энаргит	—	—	6—87	32	—	—	—	—	—	—	Не обн.	—
Теннантит	10—300	30	3—30	10	3—12	5	10—30	15	—	—	10—30	20

\* Содержания германия приведены в условных единицах.

ся значительные различия в содержании германия в полиметаллических рудах и мономинеральных фракциях различных месторождений колчеданной формации. Сфалериты Ахталы содержат значительно больше германия, чем сфалериты Кафана. В различной степени обогащены германием разновидности сфалерита из одних и тех же месторождений. Несомненно, что если различие в содержании германия в продуктах различных месторождений и стадий обусловлено различной концентрацией его в рудоносных растворах, то этого нельзя сказать в отношении германия в различных минералах одной и той же стадии или парагенетической ассоциации минералов. Здесь решающими являются кристаллохимические свойства ионов германия и в особенности кристаллической структуры ассоциирующихся с ним минералов (А. С. Жукова, 1959). В частности, накопление германия в цинковых обманках объясняется (Брюер и др., 1956) тем, что как дисульфид германия, так и сульфид цинка образуют правильные тетраэдры, в которых разница между расстояниями  $\text{Ge—Zn}$  и  $\text{Zn—S}$  вполне допустима для изоморфного замещения одного другим. А. Б. Малевский (1963), изучая формы нахождения германия в сфалеритах, установил, что металлический германий входит в сфалерит в виде твердого раствора в количестве до 3,8%, при этом атомы германия располагаются в узлах решетки, замещая одновременно как цинк, так и серу. Твердых растворов между сульфидами германия и сфалеритом не обнаружено.

Если близостью кристаллохимических свойств атомов и ионов германия так или иначе можно объяснить накопление германия в одних минералах и отсутствие (или почти отсутствие) его в других, то этим нельзя объяснить наблюдаемые различия в содержании германия в разновозрастных образованиях одних и тех же минералов, например, сфалерита, борнита, отчасти халькопирита полиметаллической стадии. В данном случае, по-видимому, решающими являются изменение относительной концентрации германия и непрерывно меняющиеся физико-химические условия минералообразования. Содержание германия в каждом минерале находится в зависимости от времени его образования. Как правило, более поздние генерации сфалерита (клеюфан) содержат значительно больше германия, чем марматиты. Это, вероятно, обусловлено не только уменьшением скорости роста кристаллов при понижении температуры растворов, вследствие чего увеличивается количество германия и других примесей, входящих в решетку сфалерита (Каменцев, 1963), но и постепенным повышением концентрации германия в остаточных растворах. Последнее вызвано сравнительно меньшей возможностью изоморфного вхождения германия в решетку ранее выпадающих минералов

(пирит, часть халькопирита и др.) и ранней генерацией сфалерита, что в свою очередь отчасти обусловлено большей скоростью роста кристаллов, при более высоких температурах.

Высокое содержание германия (82 усл. ед.) в розовато-коричневом борните (поздняя генерация) и почти полное отсутствие его в фиолетово-розовом\* (ранняя генерация), по всей вероятности, нельзя объяснить только разницей в скорости роста кристаллов и постепенным повышением концентрации германия в остаточном растворе. Результаты изучения последовательности выпадения минералов полиметаллических стадий в целом свидетельствуют о повышении восстановительного потенциала среды, при которой германий из четырехвалентного катиона переходит в двухвалентный, что значительно облегчает его вхождение в решетку борнита путем изоморфного замещения двухвалентного железа.

Восстановительные условия, наряду с другими факторами, являются решающими для образования собственных акцессорных минералов германия. Последние в рудах Ахтальского месторождения образуют сноповидные включения в полях борнита, теннантита и штроейерита. Во всех случаях отчетливо устанавливается пространственная приуроченность минералов германия к теннантиту.

Приведенные диаграммы зависимости содержаний германия от цинка и мышьяка (рис. 66) говорят о положительной корреляционной зависимости между ними при сравнительно

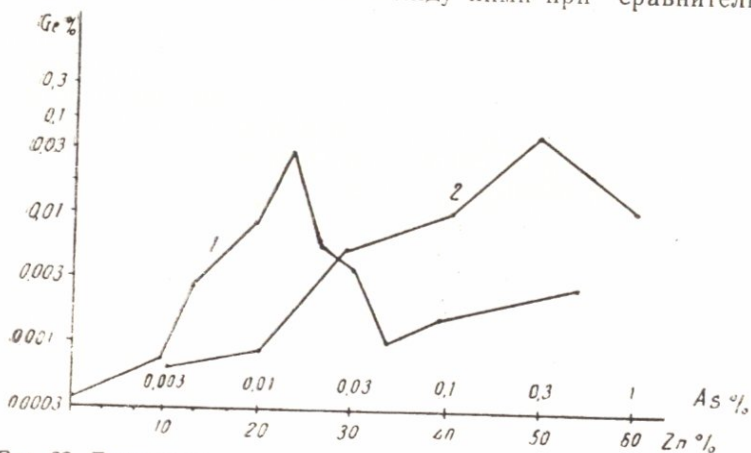


Рис. 66. Диаграмма зависимости содержания германия от цинка (1) и германия от мышьяка (2) в рудах и минералах Ахтальского месторождения. По А. И. Карапетяну.

\* Имеется в виду цвет в отраженном свете.

низких содержаниях германия. Это находится в полном согласии с тем выводом, что основными концентраторами германия в рудах колчеданных месторождений являются сфалерит и теннантит.

Наблюдается сравнительно слабо выраженная зависимость также между германием и медью (рис. 67). Это в особенности касается борнит-теннантитовых руд, в которых наиболее высокие концентрации германий образует в медных минералах (реньерит, борнит, теннантит).

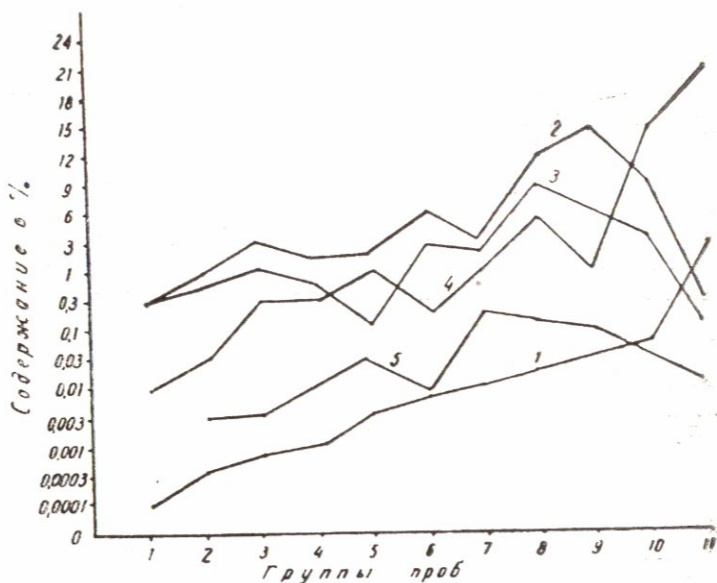


Рис. 67. Содержания германия (1) (в условных единицах), цинка (2), свинца (3), меди (4) и мышьяка (5) в рудах и минералах Ахтальского месторождения. По А. И. Карапетяну.

Выявленные корреляционные связи между германием и другими элементами обусловлены их физико-химическими и кристаллохимическими свойствами, их соединениями, которые определяют не только их совместное осаждение из гидротермальных растворов, но и одновременное выделение из источника рудоносных растворов и совместную миграцию.

В рудах колчеданных месторождений наблюдается положительная корреляционная зависимость также между оловом и германием. Наиболее высокие содержания олова установлены в тех минералах, которые наиболее богаты германием (энаргит, сфалерит, отчасти халькопирит). При этом если в

энаргите, сфалерите и халькопирите содержания германия характеризуются цифрами примерно одинакового порядка, то в пирите германий, как правило, отсутствует, а олово содержится в количестве 10 г/т и более. Такая разница в содержаниях германия и олова в пирите по сравнению с халькопиритом хорошо объясняется сравнительно высоким окислительным потенциалом среды в момент образования пирита, при котором как германий, так и олово должны были существовать в форме четырехвалентных катионов, ионные радиусы которых значительно отличаются друг от друга и, следовательно, возможности их изоморфного вхождения в решетку пирита разные. Олово, четырехвалентный катион которого имеет одинаковую величину ионного радиуса (0,74 Å) с двухвалентным железом, входит в решетку пирита.

Геохимическая связь между оловом и германием отмечалась еще Г. Бергом (1937). Наличие изоморфного ряда аргиродит-канфилдит говорит о возможности изоморфного замещения олова германием, что объясняется соизмеримостью их ионных радиусов, которые в определенных условиях образуют комплексные сульфоанионы типа  $(\text{GeS})^{4-}$  или  $(\text{GeS}_6)^{8-}$  аналогично тому, как это имеет место для олова  $(\text{SnS}_4)^{4-}$  или  $(\text{SnS}_6)^{8-}$  (А. И. Гинзбург, 1959). Этим именно склонен объяснить Г. Х. Эфендиев (1958) накопление олова вместе с германием в энаргите.

Имеющийся фактический материал позволяет говорить и об определенной геохимической связи между германием и галлием. Она заключается в избирательном повышении концентрации галлия в тех минералах, в которых присутствие германия предполагается главным образом в виде соединений двухвалентного катиона (сфалерит, халькопирит, борнит и др.). В тех минералах, где германий вероятнее всего присутствует в своей наиболее окисленной форме — четырехвалентном катионе (энаргит, кварц и др.), галлий почти полностью отсутствует.

Руды месторождений медно-молибденовой формации в целом характеризуются сравнительно низким содержанием германия (табл. 144). В рядовой руде оно не превышает 2—3 усл. ед. Преобладающее большинство химических анализов мономинеральных фракций халькопирита и молибденита показывает не более 2—3 усл. ед. германия. Лишь в редких случаях его содержание в отмеченных минералах достигает 10 усл. ед. и более. Наиболее высокие концентрации здесь также связаны с медно-мышьяковыми рудами. На отдельных месторождениях содержание германия в этих рудах достигает нескольких сот условных единиц, а в мономинеральных фракциях энаргита и теннантита — нескольких ты-

Содержания германия\* в главнейших рудных минералах медно-молибденовых месторождений Армянской ССР  
(по данным А. И. Карапетяна, Г. О. Пиджяна и А. С. Фарамазяна)

Рудные минералы	Каджаран		Агарак		Дастакерт		Джиндара		Анкаван		Айгедзор	
	от—до	среднее	от—до	среднее	от—до	среднее	от—до	среднее	от—до	среднее	от—до	среднее
Молибденит	Не обн.—3,0	1,5	0,5—3,5	1,5	Не обн.—1,2	0,8	0,5—3	1,2	0,8—2	1	Не обн.—4	1,2
Халькопирит	1—30	2,5	Не обн.—10	2,0	Не обн.—7,0	2,2	1,5—10	2,2	Не обн.—30	3,2	1,2—10	2,2
Пирит	Не обн.—3	0,8	Не обн.—3	1,0	Не обн.—1,2	0,7	Не обн.—1,5	0,7	Не обн.—2	0,8	Не обн.—1	0,5
Борнит	—	—	—	—	3—7	4,1	1,5—4	2,2	1—100	7	—	—
Сфалерит	Не обн.—300	8,0	—	—	Не обн.—30	5,6	3—30	6,0	1—30	8	3—30	8
Галенит	Не обн.—3	0,8	—	—	—	—	—	—	Не обн.—1	0,5	Не обн.	Не обн.
Энарцит	30—50	40	—	—	10—300	30	—	—	30—8000	100	—	—
Блеклая руда	10—30	20	—	—	10—100	10	—	—	10—1500	30	—	—

\* Содержания германия приведены в условных единицах.

сяч условных единиц. В рудах полиметаллических стадий содержание германия очень редко превышает 10 усл. ед. В них германий связан преимущественно со сфалеритом и в особенности с его светлоокрашенными разновидностями.

Накопление германия в энаргите Г. Х. Эфендиев (1958) объясняет возможностью изоморфного замещения комплексного аниона  $(AsS_4)^{4-}$   $(GeS_4)^{4-}$ . Папиш придерживается мнения, что в энаргите  $Ge^{4+}$  замещает центральные атомы мышьяка. Другие (Ломашов И. П., Лосев Б. И., 1962) предполагают, что германий входит в состав энаргита и теннантита в виде  $GeS_2$ , изоморфно замещая  $As_2S_3$  и  $As_2S_5$  соответственно. В такой же форме они склонны считать наличие германия в пирите и халькопирите, в которых он замещает  $FeS_2$ . Предпочтительное накопление германия в халькопирите, по сравнению с пиритом и вообще в минералах с тетраэдрической структурой (сфалерит, вюртцит, станнин и др.) объясняется тем, что сульфиды обладают преимущественно гомеополлярными (ковалентными) или металлическими связями (Брюер и др., 1956) и поэтому в них на процессы замещения влияет не только и не столько «ионное сходство», как в минералах с гетерополлярной (ионной) связью, сколько способность орбитных связей замещающего элемента приспособляться к стехиометрическому строению замещаемого кристалла-носителя. И поскольку при построении структур с гомеополлярной связью германий образует скорее тетраэдрические, чем октаэдрические связи, то понятно его стремление больше накапливаться в халькопирите и других тетраэдрических сульфидах, чем в пирите и других минералах с октаэдрической координацией.

Приведенные графики изменений содержаний германия, мышьяка и цинка в рудах различных стадий Анкаванского месторождения (рис. 68) показывают, что во всех случаях, независимо от стадии минерализации, повышенные содержания германия сопровождаются сравнительно высокими или повышенными содержаниями мышьяка и цинка, но не всегда высокие и повышенные содержания последних сопровождаются повышенным содержанием германия. Последнее особенно наглядно, когда сравниваются результаты анализов руд медно-мышьяковой стадии с таковыми полиметаллической стадии. Так, в тех образцах медно-мышьяковых руд, в которых мышьяк составляет 1% и более, содержание германия достигает нескольких сот условных единиц, в том случае, когда в полиметаллических рудах при таком же содержании мышьяка германий содержится в количестве не более нескольких единиц. Такая же картина наблюдается и для цинка, максимальное со-

держание которого (в рудах полиметаллической стадии) сопровождается небольшим содержанием германия, а в рудах медно-мышьяковой стадии максимальное содержание германия сопровождается наиболее высоким содержанием (5%) цинка\* для руд данной стадии (рис. 69).

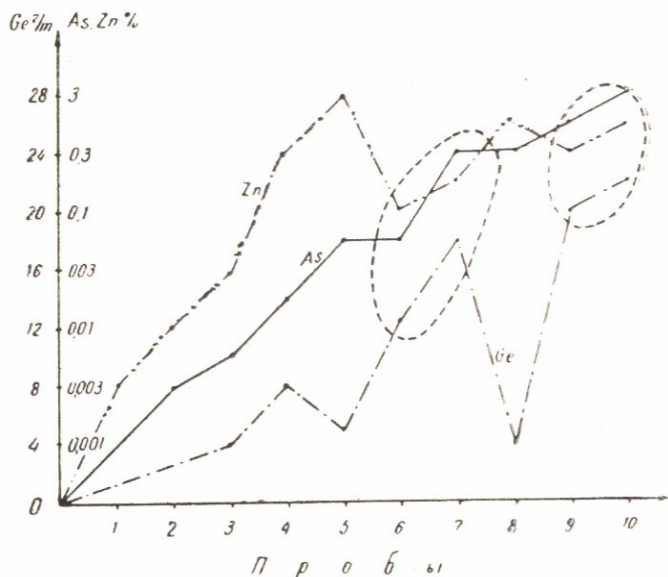


Рис. 68. Диаграмма изменений содержания германия, мышьяка и цинка в образцах руд различных стадий минерализации Анкаванского месторождения. По А. И. Карапетяну.

Внутри медно-мышьяковой стадии с увеличением содержания германия увеличивается и содержание мышьяка. На этом фоне наблюдаются расхождения, выраженные в сравнительно небольшом понижении содержания германия с увеличением содержания мышьяка или же увеличении содержания германия при одинаковом содержании или некотором понижении содержания мышьяка (рис. 69). Положительная корреляционная зависимость между германием и мышьяком обусловлена накоплением германия преимущественно в минералах

\* Любопытно, что при таком высоком содержании цинка в медно-мышьяковых рудах сфалерит не был обнаружен, даже при максимальном увеличении микроскопа. Это позволяет условно считать его изоморфной примесью в энаргите, тем более, что энаргит характеризуется довольно вместимой структурой типа вюрцитита.

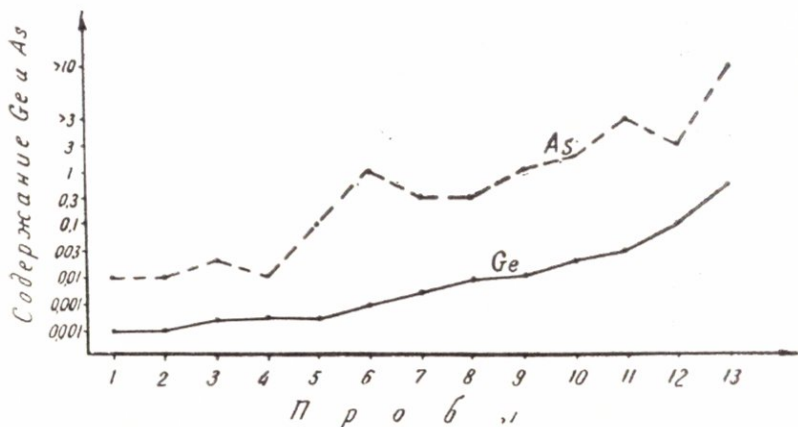


Рис. 69. Диаграмма изменения содержания германия и мышьяка в образцах руд и минералах медно-мышьяковой стадии минерализации Анкаванского месторождения. По А. И. Карапетяну.

мышьяка—энаргите и теннантите. Отмеченные же расхождения вызваны в первом случае способностью германия в различной мере концентрироваться в энаргите и теннантите, во втором—наличием в рудах аксессуарных минералов германия.

Наблюдаемое различие обогащенности германием двух минералов мышьяка—энаргита и теннантита, по-видимому, следует объяснить значительным различием условий образования этих минералов, в зависимости от которых германий переходит из состояния четырехвалентного катиона в двухвалентный. При сравнительно высоком значении Eh-среды, при котором образуется энаргит, наиболее вероятно присутствие германия в растворах в виде четырехвалентного катиона (или комплексного аниона, где он представлен четырехвалентным катионом), вхождение которого в решетку энаргита ввиду близости его ионного радиуса ( $0,44 \text{ \AA}$ ) к таковому пятивалентного катиона мышьяка ( $0,46 \text{ \AA}$ ), по-видимому, происходит значительно легче.

Вхождение германия в решетку энаргита заметно отражается на его оптических свойствах (цвет минерала в отраженном свете переходит от розовато-фиолетового в коричневато-розовый, увеличивается отражательная способность, ослабевает эффект анизотропии и двуотражения) и, по всей вероятности, вносит определенные изменения в размеры элементарной ячейки кристаллической решетки энаргита. Выяснение данного вопроса является очень интересным и требует специальных рентгенометрических исследований в различной степени обогащенных германием энаргитов. Задача ослож-

няется тем, что в энаргитах, наряду с германием, содержится ряд других элементов-примесей, концентрации которых параллельно с германием претерпевают значительные изменения.

Образование теннантита происходит в сравнительно более восстановительной среде (в нем мышьяк восстановлен до состояния трехвалентного катиона), при которой часть германия, а то и все его количество, восстанавливается до двухвалентного катиона, ионный радиус которого ( $0,72 \text{ \AA}$ ) значительно превышает радиус иона трехвалентного катиона мышьяка ( $0,58 \text{ \AA}$ ), что значительно затрудняет вхождение германия в решетку теннантита. Последнее обстоятельство способствует увеличению концентрации германия в остаточном растворе, т. е. он как бы отгоняется в остаточный раствор, тем самым создавая благоприятные условия для образования собственных минералов германия. Этим, на наш взгляд, следует объяснить приуроченность последних к полям теннантита, борнита, халькозина и почти полное отсутствие их в полях энаргита.

Накопление германия в остаточных растворах во многом зависит от вмещающей среды, в которой происходит охлаждение растворов. Наиболее благоприятными являются известняки, которые в отличие от силикатных пород не способны вбирать германий (А. И. Гинзбург, 1959). Сравнительно высокие концентрации германия были установлены в медно-мышьяковых рудах участка Дальний Дамир-Магара Анкаванского месторождения, где вмещающие породы представлены мраморизованными известняками.

Таким образом, поведение германия в процессе формирования медно-молибденовых месторождений, независимо от их локальных условий формирования, одинаковое. В продуктах наиболее ранних стадий он интенсивно рассеивается в большой массе рудных и жильных минералов. Повышенные концентрации германия связаны с гидротермальными растворами, из которых выпадают медно-мышьяковые руды. Основная часть ассоциирующего с мышьяком германия в виде изоморфной примеси входит в состав энаргита и теннантита. В этих же рудах, при сравнительно низком содержании германия (10 и более условных единиц), образуются собственные акцессорные минералы германита и реньерита. Полиметаллические руды изученных медно-молибденовых месторождений бедны германием, в них основным концентратом германия является блеклая руда, в которой содержание рассматриваемого элемента в несколько раз ниже, чем в этом же минерале из предыдущих стадий минерализации. Все это дает основание считать, что в процессе образования медно-молибденовых место-

Содержания германия\* в рудообразующих минералах главных полиметаллических, мышьяково-полиметаллических и свинцово-цинковых месторождений Армянской ССР (по данным А. И. Карапетяна, А. Г. Акопяна)

Минералы	Азатек		Газма		Гюмушхана		Мовсес		Привольное		Аравус		Мец-дзор	
	от—до	среднее	от—до	среднее	от—до	среднее	от—до	среднее	от—до	среднее	от—до	среднее	от—до	среднее
Сфалерит	2—10	5,0	3,5—7,5	5,7	2—8	5,8	1—8,0	5	1—30	8	3—30	12	1—10	3
Галенит	Не обн.—1,2	1,2	Не обн.—4,3	1,0	Не обн.	1,0	Не обн.	Не обн.—1	0,5	Не обн.—2	0,5	Не обн.	—	—
Халькопирит	Не обн.—27	6	1,5—2,7	2,7	Не обн.—1	0,8	Не обн.—2	0,7	1—3	3	—	1,2	Не обн.	—
Пирит	Не обн.—2	0,8	Не обн.—1	0,5	Не обн.—1	0,4	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,5	Не обн.	—	—
Блеклая руда	1—6,5	4,0	1,2—8	4,3	2—6	3	5—12	7,0	—	—	1,2—7,6	4,5	Не обн.—30	5
Энарцит	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3—10	6	3—10	6
Аурипигмент	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Не обн.—3	1,5	—	—
реальгар	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1—3	2	—	—

\* Содержания германия приведены в условных единицах.

рождений наиболее высокие концентрации германия привносились с наиболее ранними порциями обогащенных мышьяком растворов.

В рудах месторождений собственно полиметаллической формации Армянской ССР германий повышенных концентраций не образует, его содержание в одноименных минералах значительно ниже, чем в колчеданных месторождениях (табл. 145). По содержанию германия руды полиметаллических месторождений сходны с полиметаллическими рудами медно-молибденовой и золоторудной формаций. Наиболее богатый германием минерал сфалерит обычно содержит 5—7 усл. ед., реже 10—12 усл. ед.

В рудах месторождений железорудных формаций Армянской ССР содержание германия низкое (табл. 146), особенно в рудах гистеромагматических месторождений, в которых среднее содержание германия не превышает 2—2,5 усл. ед. Сравнительно повышенные концентрации германия связаны с гранат-магнетитовыми рудами Разданского и Анкаванского месторождений, что, по-видимому, следует объяснить значительной ролью легколетучих галлоидных соединений, особенно фторидов (Жукова, 1964) в пневматолито-гидротермальном процессе. Как справедливо отмечает И. П. Ломашев (1962), не менее важной является и установленная Г. У. Мори (1960) исключительно высокая растворимость двуокиси германия в перегретом паре при высоких температурах и давлении. Иначе говоря, в условиях, близких к формированию скарновых месторождений железа, в зависимости от металлогенической специализации магмы возможен привнос германия не только в виде легколетучих соединений, но и в виде растворенной в перегретом паре двуокиси германия. Основными минералами-концентраторами германия в скарновых железорудных месторождениях являются гранат, магнетит и отчасти гематит.

Факт приуроченности сравнительно повышенных концентраций германия к гранату находится в полном согласии с установленной Викманом (1943) закономерностью:  $Ge^{4+}$  легче замещает  $Si^{4+}$  в менее связанных тетраэдрах силикатов, чем в более связанных. Вхождение германия в решетку силикатов (в том числе и гранатов) путем изоморфного замещения кремния, отмеченное впервые В. М. Гольдшмидтом (1926), обусловлено близостью их ионных радиусов, ЭК-потенциалов ионизации и параметров их кристаллической решетки.

Определенный интерес представляет факт обнаружения повышенных концентраций германия в окислах железа из скарновых месторождений. Это в особенности касается гематита, в котором содержание германия иногда достигает не-

Таблица 146

Содержания германия\* в рудах и мономинеральных фракциях магнетита из различных железорудных месторождений Армянской ССР (по данным А. И. Карапетяна)

Генетические типы и месторождения	Магматический		Контактово-метасоматический				Гидротермальный			Метаморфогенный		Осадочный
	Сваранцское	Камакарское	Разданское	Ахавна-дзорское	Дамирмагара	Кохское (Цакери-дош)	Абовянское	Ахундовское	Чайкендское	Меградзорское	Арзаканское	Агарцинское
Руда	1,5	1,3	5,5	1,3	7,2	2,7	0,7	2,0	1,8	0,9	0,8	1,8
Магнетит	1,1	1,0	5,4	0,6	4,3	1,6	0,8	—	2,1	0,8	0,8	1,8

\* Содержания германия приведены в условных единицах.

скольких сот усл. ед. Последний факт, на наш взгляд, может быть полезным для прогнозной оценки соответствующих типов железорудных месторождений в отношении германиеносности и правильного решения существующего в литературе разногласия о форме нахождения германия в окислах железа. Как известно, Гаррис (1954), а затем и А. А. Максимов (1958) полагают, что германий входит в решетку магнетита, замещая трехвалентное железо. Г. С. Момджи и В. М. Григорьев (1959), наоборот, считают наиболее вероятным изоморфное замещение двухвалентного железа германием. Основанием для этого послужил факт снижения содержания германия в магнетите в процессе его окисления. При этом они считают, что германий выносится с растворами в результате перехода двухвалентных катионов железа и германия соответственно в трехвалентные и четырехвалентные. Далее, обобщая этот вывод, отмеченные исследователи считают, что «сидерофильность германия в земной коре связана с изоморфизмом  $\text{Ge}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{2+}$ , а следовательно, может проявляться достаточно четко лишь в восстановительной среде». Не возражая против отчетливо выраженной сидерофильности германия в восстановительной среде\*, трудно полностью согласиться с тем, что геохимическая связь германия с железом выражена «лишь связью его с двухвалентным железом». Действительно, если наличие повышенных концентраций германия в магнетите объясняется изоморфным замещением двухвалентного германия двухвалентным железом, то этого никак нельзя сказать относительно гематита, в котором все (или почти все) железо представлено трехвалентным катионом. Учитывая высокий потенциал ионизации германия и высокие окислительные условия среды при образовании гематита, трудно допустить наличие двухвалентного германия. В таких условиях германий окисляется до состояния четырехвалентного катиона, изоморфизм которого с трехвалентным железом, по-видимому, все-таки допустим. Гетеровалентный изоморфизм трехвалентного железа с четырехвалентным германием, объясняя накопление германия в гематите, не исключает возможность вхождения двух- и четырехвалентного германия в решетку магнетита путем замещения двухвалентного и трехвалентного железа соответственно.

Известные в литературе факты относительной обогащенности магнетитовых руд по сравнению с гематитовыми, на наш взгляд, обусловлены тем, что рассматриваемые ими гематитовые руды являются вторичными, образовавшимися в результа-

---

\* В восстановительных условиях гидротермального этапа минерализации германий более халькофилен, чем сидерофилен.

те окисления магнетитовых руд, при котором в силу своей большой растворимости часть германия переходит в раствор и выносится из первичных руд.

Таким образом, интересующие нас вопросы геохимии германия относительно условий образования повышенных концентраций в тех или иных минералах железорудных месторождений связаны со способностью его, в зависимости от изменения окислительно-восстановительного потенциала среды, проявляться в виде четырехвалентного или двухвалентного катионов. Последние по величине своих ионных радиусов и других кристаллохимических свойств значительно отличаются друг от друга, тем самым обуславливая наблюдаемые различия в геохимическом поведении германия.

Не менее важным фактором, обуславливающим образование повышенных концентраций германия, является механизм его вхождения в состав минералов. Здесь также пока еще нет единого мнения. А. А. Максимов (1958), Г. С. Момджи и В. М. Григорьев (1959) предполагают сорбционное накопление в минералах железа, Х. Я. Куус (1960) считает, что соосаждение германия с гидроокислами железа не является простым адсорбционным процессом. Т. И. Сенульская и М. Я. Шприт (1960) выдвигают точку зрения о соосаждении германия из растворов в виде германатов железа. Д. В. Щербак (1962) на основании опытов по изучению закономерностей аккумуляции германия гематитом и магнетитом показал, что накопление германия является типичным сорбционным процессом. При этом сорбционная емкость всех рассматриваемых соединений настолько велика, что независимо от степени их окисления, весь германий, содержащийся в рудоносных растворах в очень малых количествах, будет сорбирован выпадающим минералом. Минералом-концентратором германия, по-видимому, может оказаться соединение двух- или трехвалентного железа в зависимости от того, какое из них образовалось раньше (Щербак, 1962). Действительно, последовательность выпадения минералов, обусловленная ходом изменений физико-химических условий минералообразования, в каждом конкретном случае приводит к образованию тех или иных парагенетических ассоциаций минералов с различными минералами-концентраторами германия. Этим, по-видимому, частично обусловлены большие колебания в содержании германия в одних и тех же минералах.

В минералах зоны окисления и, в частности, в малахите, азурите, халькозине, ковеллине и др. содержание германия очень низкое. Германий не был обнаружен и во многих пробах вторичных минералов мышьяка, что позволяет предпо-

лагать о различных путях миграции меди, мышьяка, с одной стороны, и германия—с другой.

В зоне окисления сульфоарсениды по сравнению с сульфидами меди и железа являются более устойчивыми. В процессе окисления теннангита и энаргита германий освобождается и, соединяясь с кислородом в виде растворимых щелочных германатов, выносится за пределы рудного поля. Разница между поведением мышьяка и германия, по-видимому, обусловлена тем, что если в растворах с повышением концентрации серной кислоты наблюдается равномерное уменьшение растворимости двуокиси германия\*, то выщелачивание, а следовательно, и растворение мышьяка в водах, несущих  $H_2SO_4$ , увеличивается с повышением концентрации последнего. Этим же, видимо, следует объяснить различия в путях миграции германия и меди. Последняя при прочих равных условиях тем быстрее мигрирует, чем выше в растворах соотношение серы к меди, чем менее активна среда. В зоне окисления пути миграции германия и железа в основном расходятся. При этом важное значение имеет тот факт, что наличие в растворах  $H_2SO_4$  препятствует окислению  $FeSO_4$ , поэтому при наличии высокой концентрации  $H_2SO_4$  в циркулирующих водах затрудняется переход  $FeSO_4$  в  $Fe_2(SO_4)_3$ , который под воздействием воды выпадает в виде гидрооксида железа—лимонита. В отдельных случаях сравнительно повышенные концентрации германия (до 100 усл. ед.) были установлены в пробах коллоидного лимонита, что, по-видимому, следует объяснить абсорбцией германия гидрооксидами железа.

#### 4. Кадмий

В настоящее время известны два сравнительно распространенных кадмиевых минерала: сульфид-гриноцит и карбонат-отавит. Последнее обстоятельство объясняется ничтожным содержанием кадмия в земной коре, что ведет к недостатку его в летучих погонах для образования самостоятельных соединений. Гриноцит образуется в зоне цементации, выделяясь в виде мелких желтых кристалликов и пленок. Отавит характерен для зоны окисления и присутствует в смитсонитовых и галмейных рудах. Однако они не дают крупных концентраций и обычно представляют только минералогический интерес. Промышленные концентрации кадмия связаны с постмагматическими процессами рудообразования и приурочены к

---

\* Только в концентрированной  $H_2SO_4$  растворимость двуокиси германия снова несколько увеличивается.

сульфидам свинцово-цинковой и полиметаллической стадий минерализации гидротермальных месторождений.

В рудах полиметаллической и колчеданной формаций Армянской ССР кадмий является постоянной и довольно характерной примесью. Наиболее высокие концентрации этого металла (0,1 до 1,0%) приурочены к рудам свинцово-цинковой стадии минерализации колчеданных месторождений (Ахтала, Шамлуг, Шаумян-Халадж и др.). Интересно отметить, что наряду с цинковым концентратом, являющимся основным источником промышленного получения кадмия ( $Cd-0,5\%$ ), важное значение имеют также медные и свинцовые концентраты ( $Cd-0,11-0,12\%$ ) этих месторождений. Наличие столь высоких содержаний кадмия в свинцовых и медных концентратах обусловлено как механической примесью в них сфалерита, так и частичным замещением двухвалентных ионов свинца ( $Pb^{2+}$ ) и меди ( $Cu^{2+}$ ) кадмием ( $Cd^{2+}$ ). В галенитах и халькопиритах этих руд содержания кадмия составляют 0,1—0,3%.

Среди сульфидных соединений рассматриваемых руд главным минералом-носителем кадмия является цинковая обманка, где содержание кадмия варьирует от 0,3 до 3,0%.

В рудах полиметаллической формации кадмий представляет значительный практический интерес. Благодаря широкому развитию в полиметаллических и свинцово-цинковых рудах сернистого соединения цинка рассматриваемое семейство характеризуется постоянной и довольно высокой концентрацией кадмия (0,1—0,5%). Однако руды эти в целом по сравнению с полиметаллическими рудами колчеданной формации беднее кадмием. Интересно отметить, что свинцово-цинковые руды отдельных месторождений (Мосес и др.) характеризуются необычно высоким содержанием кадмия (до 3,9%), а в сфалеритах из этих руд установлено до 10%. Однако для сфалеритов большинства месторождений этой формации (Газма, Азатек, Привольненское и др.) характерны сравнительно невысокие содержания кадмия (0,3—1,0%). Многими исследователями отмечается обогащенность кадмием более низкотемпературных светлых разностей сфалеритов, однако химическими анализами (полярографический метод) в различных по цвету сфалеритах из одного и того же месторождения (Азатек) установлены примерно одинаковые количества кадмия: сфалерит—желто-бурый—0,28%, темно-коричневый—0,265%, светло-коричневый—0,27%. Приведенные данные позволяют предполагать, что обогащенность кадмием тех или других разностей сфалеритов обусловлена не только температурой, а более важное значение имеет концентрация кадмия в отдельных порциях рудоносных растворов. Более того, темные

разности сфалерита (марматит) Зодского месторождения более обогащены кадмием (до 3%), чем светлые—из ряда месторождений (Газма, Гюмушхана, Азатек и др.). Следовательно, при высокой кадмиеносности рудоносных растворов в условиях сравнительно высокой температуры вполне возможно замещение цинка кадмием.

В табл. 147 по данным А. Г. Акопяна приводится среднее содержание кадмия в сульфидах Айоцзора.

Таблица 147

Среднее содержание кадмия в главнейших сульфидах Айоцзорского рудного района (‰)

Рудное поле	Сфалерит	Галенит	Халькопирит
Каялинское	0,295	0,017	0,007
Газминское	0,245	0,013	0,007
Гюмушханское	0,240	0,016	0,0055

Для медно-молибденовой формации руд характерны невысокие концентрации кадмия (0,01—0,03%). Несколько обогащены кадмием руды полиметаллической стадии минерализации Дастакерта и Каджарана. Высокими содержаниями кадмия характеризуются сфалериты Дастакерта (1—3%), Анкавана (до 1%) и Каджарана (от 0,03 до 1,0%). Повышенные содержания кадмия отмечаются также в отдельных пробах халькопиритов, галенитов и теннантитов.

В медно-молибденовых месторождениях Армении сфалериты имеют ограниченное развитие, поэтому главным концентратом кадмия здесь является халькопирит. В медных концентратах Каджарана и Дастакерта содержание кадмия колеблется в пределах 30—50 г/т. Имея в виду большой объем переработки медных концентратов, можно поставить вопрос о попутном извлечении из них также кадмия.

Таким образом, можно заключить, что в отношении кадмиеносности наибольший практический интерес представляют свинцово-цинковые и полиметаллические руды колчеданной и полиметаллической формаций. Основным источником промышленного извлечения кадмия могут служить цинковые и отчасти свинцовые и медные концентраты.

## 5. Индий и таллий

Индий является типичным халькофильным элементом. Благодаря большой способности к рассеянию он присутствует в самых разнообразных соединениях. Наиболее повышенные концентрации индия приурочены к цинковой обманке, халькопириту, сульфостаннатам свинца и сурьмы и т. д. В связи с близостью величины поляризации, энергетических особенностей ионов охотнее всего индий изоморфно входит в решетку сфалерита, галенита, сульфосолей Pb, Zn, Sn, Sb, которые по существу являются главными промышленными источниками этого элемента.

За последние годы в литературе появился ряд интересных работ, посвященных геохимическим исследованиям индия. Большой интерес представляет обнаружение первых самостоятельных минералов индия—индита  $\text{FeIn}_2\text{S}_4$ , джалиндита  $\text{In}(\text{OH})_3$  (А. Д. Генкин и И. В. Муравьева, 1963) и рокезита  $\text{CuInS}_2$  (P. Picot, R. Pierrot).

В рудах Армянской ССР индий пользуется значительным распространением, однако промышленные концентрации этого элемента пока не выявлены. Повышенные содержания индия (0,001%) установлены в рудах некоторых месторождений колчеданной (Шамлуг, Ахтала, Шаумян и др.) и полиметаллической (Гюмушхана, Азатек, Аравус, Мазра) формаций, где максимальные концентрации приурочены в основном к сфалеритам (0,001—0,01%). Наиболее интересны в отношении индия полиметаллические руды Армении. В свинцово-цинковых концентратах рудопроявлений Аравус и Мазра (Барцраван) содержание индия колеблется в пределах от 0,003 до 0,02%, в то время как в медных, свинцовых и цинковых концентратах Ахталы индий содержится в количестве всего 0,0003—0,0008%. На Каджаранском месторождении индий установлен в халькопирите до 6,0 г/т, в среднем по данным 10 проб—1,5 г/т. Основная масса индия, рассеянного в рудах, связана с халькопиритом, в связи с чем он накапливается в медных концентратах (4,0 г/т). Низкие содержания индия (~0,00025%) установлены в магнетит-гематитовых концентратах железорудного месторождения Цакери-дош.

В табл. 148 приводятся содержания индия и таллия в сфалеритах различных месторождений Армении (спектральные и химические анализы) по данным А. Г. Акопяна, Г. О. Пиджяна, А. С. Фарамазяна и А. И. Карапетяна.

Таким образом, индий может представить практический интерес как попутный компонент в полиметаллических и медных рудах (Шаумян, Халадж, Ахтала, Гюмушхана, Азатек, Каджаран и др.).

Содержания In и Tl в сфалеритах из различных месторождений (‰)

Месторождения	In	Tl
Газма	0,001	0,0005
Азатек	0,003	0,00025
Чирахли	0,0045	0,00025
Мовсес	0,003—0,01	—
Аравус	0,003—0,01	—
Ахтала	0,001—0,01	—
Каджаран	0,0024	—
Дастакерт	0,0015	—
Анкаван	0,0030	—
Меградзор	0,0030	—
Айгедзор	0,0030	—
Джргалидзор	0,0003	0,00025
Шаумян-Халадж	0,0080	—

Таллий, в отличие от индия, обладает большой способностью образования соединений с серой, мышьяком, сурьмой, селеном и теллуром. Известны пять собственных минералов таллия: лорандит, врбаит, гутчинсонит, круксит и авиценнит. Все они принадлежат к числу очень редких минералов, и промышленных скоплений в природе не образуют. В связи с весьма малыми содержаниями и отсутствием точных методов определения до настоящего времени вопросы геохимии таллия изучены недостаточно.

Кристаллохимически таллий ведет себя двояко: с одной стороны, это литофильный элемент и рассеян в породообразующих силикатах калия, рубидия и цезия, а с другой—халькофильный, связанный с сульфидами свинца, железа, цинка и др. Необходимо отметить, что таллий больше всего в гипогенных условиях концентрируется в конечных стадиях кристаллизации, причем в самых поздних этапах гидротермального процесса концентрация таллия проявляется с нарастающей силой, заканчиваясь образованием собственных минералов. Поведение таллия при окислении таллийсодержащих пород и руд изучено весьма слабо. В зоне окисления часть таллия фиксируется на месте, другая же часть его выносится во вмещающие породы и рассеивается в общем кругообороте грунтовых вод. В сильно окислительных условиях образуется труднорастворимый гидрат окиси таллия  $Tl(OH)_3$ , который

быстро дегидратируясь в виде  $Tl_2O_3$ , вероятно, входит изоморфно в структуру  $Mn_2O_3$ .

В рудах Армении некоторый интерес в отношении таллия представляют колчеданно-полиметаллические и свинцово-цинковые месторождения (Ахтала, Газма, Азатек и др.). Концентрации таллия в рудах этих месторождений почти одинаковы и колеблются в пределах от 0,0001 до 0,0005%. Основными носителями таллия являются галенит (0,0005—0,01%), сфалерит (0,0003—0,0005%), халькопирит и блеклые руды (0,0003%). Интересно отметить, что в галенитах из свинцово-цинковых месторождений Мовсес и Аравус таллий установлен в количестве 0,01—0,1%.

Свинцово-цинковые концентраты месторождения Аравус содержат 0,01% таллия. Следует отметить, что таллий как в рудах, так и минералах и концентратах улавливается спорадически: в большинстве химических и спектральных анализов таллий не обнаруживается.

В нефелине и полевом шпате Тежсарского месторождения количественным спектральным анализом установлен таллий—0,006%. В нефелиновом концентрате содержание таллия достигает 0,003%. Приведенные данные показывают, что руды Армении с точки зрения таллиеносности не характерны, в связи с чем говорить о перспективности этого элемента не приходится.

## 6. Висмут

В природе висмут встречается как в виде химических соединений, так и в самородной форме.

Главные минералы: висмутин, самородный висмут, сульфосили висмута с медью, свинцом, серебром и теллуриды висмута. В настоящее время известно до 50 висмутсодержащих минералов. Висмут содержится также в виде мельчайших включений висмутовых минералов и изоморфной примеси во многих сульфидах (галенит, халькопирит, пирит, молибденит и др.).

Промышленными типами руд висмута являются: олововольфрам-висмутовые (2—8%  $Vi$ ), медно-висмутовые (0,5—1,0%  $Vi$ ) и кобальт-никель-серебро-уран-висмутовые (до 0,5—1,0%  $Vi$ ). Большая часть мировой продукции висмута извлекается как побочный продукт при переработке различных типов руд, в которых содержание висмута составляет обычно сотые доли процента.

На территории Армянской ССР самостоятельных месторождений висмута неизвестно, однако в рудах многих месторождений установлены повышенные содержания висмута,

представляющие определенный практический интерес. Наличие висмута в рудах связывается главным образом с включениями висмутовых минералов (висмутин, виттихенит, эмплектит, самородного висмута, теллуrowисмутита, тетрадимита, айкинита, козалита, матильдита, купровисмутита и др.) и отчасти изоморфной примеси в рудообразующих сульфидах.

Минералы висмута наиболее тесно ассоциируют с халькопиритом, борнитом, галенитом, сфалеритом, молибденитом, золотом, сульфосолями свинца и сурьмы, теллуридами и большей частью развиты в их полях.

О довольно широкой «зараженности» висмутом территории Армении свидетельствуют и результаты шлихового опробования рек (Воротан, Арпа, Мармарик и др.), причем в шлихах висмут представлен главным образом висмутином и ба-зобисмутином.

Исследованиями установлено, что висмут проявляется в следующих формациях руд Армении: медно-молибденовой, золоторудной, полиметаллической и колчеданной. Наибольший интерес на висмут в настоящее время представляют руды медно-молибденовых и золоторудных месторождений.

В медно-молибденовой формации руд (Каджаран, Дастакерт и др.) наиболее широко распространены висмутовые минералы (висмутин, виттихенит, эмплектит, самородный висмут, галеновисмутит, теллуrowисмутит, тетрадимит, айкинит и купровисмутит), в связи с чем руды и главные рудообразующие сульфиды содержат повышенные концентрации висмута. В табл. 149, по данным Г. О. Пиджяна и А. С. Фарамаяна, приведено среднее содержание висмута в рудообразующих сульфидах медно-молибденовых месторождений Армении по данным химических анализов.

Результаты анализов показывают, что наиболее высоким содержанием висмута характеризуются сульфиды Дастакерта (халькопирит, молибденит, пирит, галенит). Кроме того, в молибденитах Дастакерта установлены необычно высокие содержания висмута (230 г/т), что, по-видимому, связано с присутствием минералов висмута в полях молибденита.

В золоторудной формации руд висмут тесно связан с теллуrom и главным образом представлен в виде теллуридов—теллуrowисмутита и тетрадимита. Кроме указанных минералов, он присутствует также в виде висмутин, виттихенит, эмплектита, галеновисмутита и купровисмутита и отчасти изоморфной примеси в рудообразующих сульфидах. В отношении висмута в этой формации наибольший интерес представляют руды Зодского месторождения. Самыми богатыми по содержанию висмута являются золото-теллуrowые руды

(100—300 г/т). Среди мономинеральных проб высокими содержаниями висмута характеризуются халькопирит и сфалерит до 300 г/т, блеклые руды—300—500 г/т, антимонит и сульфоантимониты—1000—3000 г/т (данные Ш. О. Амиряна).

Таблица 149

Содержания висмута в главных рудообразующих сульфидах медно-молибденовых месторождений (‰)

Месторождение и рудопроявление	Халькопирит	Молибденит	Пирит	Галенит	Сфалерит
Каджаран	0,0210	0,0033	0,0023	0,0670	0,0024
Дастакерт	0,0430	0,0230	0,0340	0,0570	0,0015
Агарак	0,0065	0,0012	0,0046	—	—
Анкаван	0,0220	0,0038	0,0030	0,0420	0,0055
Джиндара	0,0060	—	0,0085	—	—
Айгедзор	0,0145	—	0,0055	—	0,0070
Капутджух	0,0240	—	—	—	—
Мегригет	0,0300	—	—	—	—
Джуркап	0,0360	—	—	—	—

В концентратах и минералах Меградзорского золоторудного месторождения спектральным анализом установлены следующие содержания висмута в процентах: в концентрате полиметаллических руд—0,1, в концентрате сульфидов и теллуридов—до 1,0, в пирите—0,003, халькопирите—0,0025, сфалерите—0,002, блеклой руде—0,003, галените—0,1% (данные Ш. О. Амиряна и А. И. Карапетяна).

На Сарнахпюрском проявлении золото-теллуру-висмутых руд в пробе, отобранной по всей мощности жилы «Северной», установлен  $Bi$ —0,076%, в рудном концентрате, где имелись висмутовые минералы, спектральным анализом обнаружен  $Bi$ —10% (данные Н. С. Хачатряна и Б. Д. Акопян). Результаты химических анализов 20 бороздовых проб показали содержание висмута от 0,003 до 0,1%, в среднем 0,05%. В кварцевых жилах Меликгюхского проявления золота и висмута установлен  $Bi$ —0,004—0,008%.

В полиметаллической формации руд (Газма, Азатек, Каялу и др.) висмут представлен как в виде изоморфной примеси в рудообразующих сульфидах (галенит, сфалерит, халькопирит, блеклая руда и др.), так и самостоятельных минералов: теллурувисмутита, айкинита, матильдита, козалита, витихенита и эмплектита.

В табл. 150, по данным Н. С. Хачатряна, Б. Д. Акопян, А. Г. Акопяна, Ш. О. Амиряна, В. О. Пароникяна и др., приводится содержание висмута в различных продуктах полиметаллических руд (результаты спектральных и химических анализов).

Таблица 150

Содержания висмута в рудах и минералах полиметаллических месторождений (%)

Месторождение, рудопроявление	Полиметаллическая руда	Галенит	Сфалерит	Халькопирит	Свинцовый концентрат
Газма	0,0012—0,01	0,003—0,1	Следы	0,001—0,003	0,01—1,0
Азатек	0,01—0,1	0,03—0,1	—	—	0,05—0,2
Гюмушхана	0,005—0,02	0,0085	0,001—0,003	0,0078	0,01—0,1
Каялу	0,003—0,01	0,01	0,001—0,003	0,003—0,03	—
Привольненская группа	0,001—0,01	0,01	—	—	—
Марцигетская группа	0,001	0,001—0,003	—	—	—
Мовсес	0,001	—	0,003	—	—

Высокие содержания висмута установлены: в антимонитовых и сульфоантимонитовых рудах Азатека—0,01—0,03%, в галените Мазринского месторождения—0,1% и в галените Аравусского рудопроявления—0,01—1,0%.

Таким образом, в полиметаллической формации руд по содержанию висмута наибольший интерес представляют руды Азатекского, Гюмушханского и Газминского месторождений.

В колчеданной формации руд висмут имеет сравнительно с другими формациями небольшое развитие и представлен главным образом в виде изоморфной примеси. За последние годы в результате детальных микроскопических исследований в рудах месторождений этой формации (Кафан, Шамлуг, Тандзут, Шаумян-Халадж) были установлены в полях главных рудообразующих сульфидов мельчайшие выделения минералов висмута: висмутина, тетрадимита, теллуровисмутита, галеновисмутита (?), виттихенита и эмплектита. По содержанию висмута в этой формации наибольший интерес представляют руды Кафанского, Шамлугского и Тандзутского месторождений. В табл. 151, по данным Э. А. Хачатуряна, Н. С. Хачатряна, Б. Д. Акопян, В. О. Пароникяна и др., приводится

содержание висмута в различных продуктах руд (результаты спектральных и химических анализов)

Таблица 151

Содержания висмута в некоторых минералах колчеданных месторождений (%)

Месторождения, рудопроявления	Руда	Халькопирит	Пирит	Энергит
Кафан	0,00075	0,003—0,01	0,001—0,003	0,03
Шамлуг	0,0018	0,003	0,001	—
Алаверди	—	0,0003	0,001	—
Агви	0,0003	0,001	0,0005	—
Тандзут	0,0029	—	0,001—0,003	0,01
Мец-дзор	—	—	0,001	0,01

Изучение геохимических особенностей медно-молибденовых руд Армении показывает, что из рудоносных гидротермальных растворов висмут выделялся в средних и поздних стадиях минерализации: кварц-молибденит-халькопиритовой, кварц-халькопиритовой и кварц-сфалерит-галенитовой. При этом в первых двух стадиях минерализации висмут выделялся главным образом в виде висмутинна и медно-висмутовых минералов в тесной парагенетической ассоциации с халькопиритом, а в полиметаллической стадии—сульфовисмутитов свинца и теллуридов висмута.

В рудах указанных стадий минерализации, кроме собственных минералов, висмут образует также изоморфную примесь в главнейших рудообразующих сульфидах. В чисто отобранных сульфидах (халькопирит, молибденит, пирит, галенит и др.), в полях которых под микроскопом не были обнаружены минералы висмута, химическими и спектральными анализами установлены повышенные содержания висмута.

В гипергенных условиях висмут обычно дает карбонаты и изредка другие типы соединений (гидроокислы).

## 7. Золото

Величина ионного радиуса одновалентного золота равняется 1,37 Å. Атомный радиус 1,44 Å. Весовой кларк в земной коре  $5 \cdot 10^{-7} \%$ .

Золото является широкораспространенным элементом. В тонко рассеянном состоянии оно находится почти во всех ти-

лах пород земной коры, в морской воде, в растениях и даже в костях животных. Однако промышленные концентрации золота встречаются в определенных структурно-фациальных геологических условиях и образуются в различных металлогенических эпохах.

По генетическому признаку промышленные месторождения золота подразделяются на следующие типы: метаморфогенные, россыпные, железные и свинцовые шляпы, скарновые, пегматито-пневматолитовые и гидротермальные. Значительные концентрации золота находятся в последнем типе месторождений, где в различных температурных типах золото ассоциирует с различными минералами. В высокотемпературных типах золото встречается в ассоциации с турмалином, шеелитом, вольфрамитом, арсенопиритом, пиритом, кварцем, молибденитом, гранатами, альбитом и др.; здесь оно обычно высокопробное. В средне- и низкотемпературных месторождениях золото находится в ассоциации с кварцем, анкеритом, халцедоном, адуляром, цеолитами, родохрозитом, сидеритом, баритом, пиритом, галенитом, халькопиритом, сфалеритом, блеклыми рудами и с различными теллуридами и сульфосолями. В этих типах месторождений золото средне-низкопробное. Следует отметить, что в этом отношении золоторудные месторождения Армении являются исключением, так как в них золото высокопробное.

В коренных месторождениях золото главным образом концентрируется в виде самородного золота или электрума. Подчиненную роль играют теллуриды золота: креннерит, калаверит, сильванит, петцит и другие.

Золоторудная минерализация часто сочетается с проявлениями других элементов, однако основное промышленное значение имеют собственно золоторудные месторождения.

Месторождения золота формировались во всех металлогенических эпохах, среди которых особо выделяется докембрийская (более 60% добычи золота капиталистических стран).

Золото на территории Армении было установлено во всех трех выделенных И. Г. Магакьяном структурно-металлогенических зонах, где оно связано почти со всеми интрузивными циклами. Золоторудные ассоциации генетически связаны с интрузивными и субвулканическими комплексами. Относительно богаты золотом гидротермальные образования, связанные с умеренно кислыми гранитоидами третичного возраста.

По петрографическому составу интрузивные и жильные породы, с которыми пространственно тесно ассоциируют золоторудные месторождения, изменяются от габбро-диоритов и диорит-порфиритов до порфиридных гранитов и кварцевых порфиров, а в некоторых случаях до пород повышенной ще-

лочности—граносиенитов, сиенитов. На Зодском месторождении такими породами являются диорит-порфиры, кварц-порфиры; на Амзачиманском—граносиениты, на Меградзорском—граносиениты, сиениты, сиенит-порфиры, лампрофиры; на Личкваском—гранодиориты, гранодиорит-порфиры, крсаититы, а на Азатекском—порфиroidные граниты, граносиениты и диоритовые порфиры. Среди отмеченных пород преобладают роговообманковые и биотитовые разности. Значительная часть их характеризуется повышенным по сравнению с калием содержанием натрия.

Характерными для отмеченных пород являются массивные мелко-, среднезернистые и, редко, крупнозернистые текстуры и типидиоморфнозернистые порфировые и порфиroidные структуры.

Массивы гранитоидных интрузий характеризуются малыми размерами, колеблющимися в пределах от 0,5 до 30 кв. км по площади.

Рудные жилы и минерализованные зоны дробления пород располагаются как в интрузивных, так и в экзоконтактовых вулканогенных породах.

Продуктивными металлогеническими эпохами для золоторудной минерализации в основном явились киммерийская и альпийская. Небольшие количества золота установлены также в шлихах, промытых из участков развития палеозойских гранитоидов (совместно с цирконом, рутилом, сфеном, ильменитом, шеелитом, пиритом и изредка с галенитом, сфалеритом, халькопиритом, антимонитом и реальгаром).

В киммерийской и альпийской эпохах золоторудная минерализация проявилась в различных стадиях развития структурно-магматических зон и металлогении. В киммерийской эпохе она проявилась: а) в колчеданных рудах ранней стадии в связи с малыми субвулканическими интрузиями кварцевых порфиров и альбитофиров, возраст которых (Г. П. Багдасарян, 1966) 150—163 млн. лет (Алаверди, Шамлуг, Ахтала, Кафан, Шаумян, Халадж) и б) в колчеданных, барит-полиметаллических, кварц-гематитовых, медно-гематитовых рудах средней стадии (проявления Шнох, Воскепар, Козмантала, Шикахох, Срашен и др.) в связи с внедрением кварцевых диоритов и гранодиоритов мелового возраста (с абсолютным возрастом  $133 \pm 8$  млн. лет) в пределах Алаверди-Кафанской структурно-металлогенической зоны. При этом повышенное содержание золота установлено в полиметаллическом типе руд (Ахтала, Шаумян-Халадж).

Особое развитие золоторудная минерализация получила в альпийской металлогенической эпохе, широко представленной в Севано-Амасийской и Памбак-Зангезурской структурно-металлогенических зонах. В ранней стадии развития металло-

гении золото проявилось в колчеданных рудах Севано-Амассийской зоны (Тандзут, Чибухлы), находясь в парагенетической связи с малыми субвулканическими интрузиями кварцевых порфиров и альбитофиров с абсолютным возрастом 41—49 млн. лет.

В среднюю стадию структурно-металлогенического развития зоны в связи с внедрением небольших интрузий гранитоидов (абсолютный возраст 35—45 млн. лет) образуются золоторудные месторождения и проявления Ахавнадзор, Фролова балка, Маймех, Агви, Мгарт, Арманис и другие.

В позднюю стадию, в результате окончательного поднятия и консолидации орогена и имевших место разрывных дислокаций, вдоль крупных пликтивных структур и разрывов внедряются малые интрузии умеренно кислых гранитоидов (абсолютный возраст 21—33 млн. лет) и субщелочных пород (абсолютный возраст 24—38 млн. лет).

В генетической связи с ними образуются наиболее крупные месторождения и проявления золота: Зод, Меградзор, Амзачиман, Личквас, Гегарчин, Намазелян и другие. В эту стадию золото в виде примеси проявляется также в медно-молибденовых и полиметаллических рудах (Каджаран, Агарак, Анкаван, Айгедзор, Азатек и др.).

С разрушением коренных золоторудных месторождений связаны золотоносные аллювиальные россыпи в долинах рр. Мармарик, Агстев, Масрик, Мегри, Дзорагет, Памбак и др.

Микроскопически, химически и спектрально золото установлено почти во всех типах руд сульфидных месторождений.

В табл. 152 приводится содержание золота в рудах, концентратах и минералах медно-молибденовых месторождений по пробирным и спектральным анализам.

Из таблицы следует, что в рудах медно-молибденовых месторождений золото содержится обычно в небольших количествах—1—2 г/т, но, учитывая большие запасы руд, медно-молибденовая формация представляет практический интерес. На Каджаранском, Агаракском и Дастакертском месторождениях (Г. О. Пиджян, А. С. Фарамазян) основная масса золота заключена в рудах средних стадий минерализации, хотя наиболее высокие его содержания приурочены к рудам кварцсфалерит-галенитовой стадии и накапливаются в свинцовом концентрате. На Анкаванском месторождении (Г. О. Пиджян, 1959; А. И. Карапетян, 1961) наиболее высокие содержания золота устанавливаются в рудах поздних медно-мышьяковой и полиметаллической стадий минерализации. Основной формой проявления золота в рудах медно-молибденовой формации является тонкодисперсная (субмикроскопическая) и лишь небольшая часть представлена в виде самостоятельных мине-

Содержания золота в рудах, концентратах и минералах  
медно-молибденовых месторождений

Месторождения	Руды, концентраты и минералы	Ау, г/т
Каджаран	Медный концентрат (из медно-молибденовой руды)	2,4
	Медный концентрат (из кварц-халькопиритовой руды)	0,4
	Пиритовый концентрат	0,9
	Кварц-сфалерит-галенитовая руда	1,06
	Пиритовый концентрат	1,4
	Медно-молибденовый концентрат	1,2
	Цинковый концентрат (из штуфа)	8,75
	Свинцовый концентрат (из штуфа)	19,41
	Медный концентрат (из штуфа)	0,96—1,1
	Тетраэдрит	10—30
	Галенит	10—41,73
Сфалерит	10—30	
Анкаван	Пирит	до 30
	Халькопирит	30—100
	Энаргит	30—100
	Теннантит	30
	Борнит	100—300
Агарак	Медная руда (штуфная проба)	1,0—1,5 (до 10)
Джиндара	Халькопирит	10—30
Дастакерт	Медный концентрат	1,2
	Медно-молибденовая руда (штуф)	0,1

**Примечание.** Каджаран — по данным А. С. Фарамазяна; Анкаван — Г. О. Пиджяна и А. И. Карапетяна; Агарак, Джиндара и Дастакерт — по Г. О. Пиджяну.

ралов золота с теллуrom (калаверит, креннерит, сильванит, петцит, гессит и др.) и крупнодисперсного (видимого) самородного золота.

Золото-серебряное отношение в рудах медно-молибденовой формации колеблется в пределах от 1:40 до 1:10. Оно сравнительно высоко в полиметаллических рудах, где установлены довольно высокие концентрации золота и теллура. По данным А. С. Фарамазяна, золото-серебряное отношение в полиметаллическом, цинковом и свинцовом концентратах составляет 1:3,7—1:15. В медных, пиритовых и медно-молибденовых концентратах оно имеет близкое значение и составляет

1:28—1:38. Оно высоко и в медно-мышьяковых рудах Анкавана. Последние, как и полиметаллические руды, характеризуются высокими концентрациями золота.

В рудах колчеданной формации повышенные содержания золота отмечаются в медноколчеданных и полиметаллических (борнитовых, галенитовых) типах, а также в железной шляпе серноколчеданных руд (табл. 153).

Как видно из табл. 153, золото концентрируется преимущественно в полиметаллическом типе, несколько меньше—в медноколчеданном и серноколчеданном. Золото в колчеданных рудах представлено в виде самородных частиц, размером 0,001—0,2 мм, рассеянных в полях сульфидов и нерудных минералов. В некоторых месторождениях железная шляпа обогащается золотом и приобретает практический интерес. В колчеданно-полиметаллических рудах (Шаумян-Халадж) золото проявляется как в самородном виде, так и в форме теллуридов. В ассоциации теллуридов установлены: алтаит, гессит, петцит, калаверит, теллуrowисмутит и золото (Э. А. Хачатурян, 1958; Р. Н. Зарьян, 1962; В. О. Пароникян, 1967). Теллуриды приурочены преимущественно к концу полиметаллической стадии минерализации, а некоторые ее члены проявляются также в медноколчеданном типе руд.

В рудах колчеданной формации золото-серебряное отношение варьирует в пределах 1:185—1:3. При этом в серноколчеданных рудах оно в среднем (для главных месторождений) составляет 1:15—1:7, медноколчеданных—1:5—1:3, полиметаллических—1:25—1:4, а в борнит-халькозиновых—1:185—1:75. Как видно, отмеченное отношение в главных типах руд имеет близкое значение, а резкое уменьшение его в последнем типе руд исследователи объясняют возрастанием концентрации серебра. Этот тип руд является продуктом самых поздних стадий минерализации и приурочен в основном к верхним горизонтам рудных тел.

Высокие содержания золота отмечаются в рудах полиметаллической формации, где оно в основном приурочено к полиметаллическим, сульфоантимонитовым и, в некоторой степени, антимонитовым типам руд. В рудах золото присутствует в виде самородного золота, рассеянного в полях жильных и рудных минералов. Размер золотинок колеблется в широких пределах: от трудноразличимых под микроскопом до 0,5 мм с преобладанием тонкодисперсного. Видимые под микроскопом золотины имеют самые причудливые формы (удлиненные, пластинчатые, комковидные). Золото тесно ассоциирует с теллуридами, сульфосолями свинца, висмута, серебра, меди и мышьяка, которые по сравнению с главными сульфидами, являются более поздними образованиями.

Содержания золота в рудах, концентратах и минералах  
колчеданных месторождений

Месторождения	Руды, минералы, концентраты	Au, г/т
Алаверди	Медно-серноколчеданная руда	1
	Полиметаллическая руда (штуф)	1,2—4
	Свинцово-серебряная и борнитовая руда (штуф)	До 8 и более
	Прожилково-вкрапленная медная руда	0,1
	Богатая медная руда (штуфная проба)	До 0,5
Кафан	Медная руда	0,14
	Халькопирит	3,1 до 12,5
	Пирит	10—100
Шаумян-Халадж	Полиметаллическая руда	1,2—411,0 (в среднем 4,23)
	Пирит	80
	Халькопирит	13,5—47,9
	Сфалерит	23,4—42,6
	Галенит	6
Шамлуг	Рядовая руда	0,17—5 (в среднем 1)
	Полиметаллическая руда (штуф)	4,2
	Пирит	0,1
	Халькопирит	0,2
	Галенит	10
Ахтала	Полиметаллическая руда	2,5—16
	Борнитовая руда (штуфная проба)	до 45
	Борнитовый концентрат (из штуфа)	до 29,3
	Серноколчеданная руда	0,7—1
	Медно-серноколчеданная руда	до 4—8
	Борнит	100—836
	Галенит	100
	Штроейерит	10—100
Исходная руда	2,1—2,5	
Тандзут	Серноколчеданная руда	0,7—4 (в среднем 2)
	Медноколчеданная руда	0,2—6, редко 14,1 (в среднем 3)
Чибухлы	Полиметаллическая руда	3—4
	Железная шляпа	3—14

Примечание. Данные Э. А. Хачатуряна, Д. Г. Чатиняна и В. В. Вацяна, Г. О. Пиджяна и В. О. Пароникяна, М. С. Апресяна и А. Г. Гарсояна.

Повышенные концентрации золота отмечаются главным образом в рудах полиметаллической стадии минерализации и приурочены к теннантиту, тетраэдриту, сфалериту, галениту, айкиниту и другим минералам (табл. 154). Золото по химическому определению высокопробное—800—950.

Таблица 154

Содержания золота в рудах и минералах полиметаллических месторождений

Месторождения и рудные поля	Руды (штучные пробы) и минералы	Ау, г/т
Каялу	Серноколчеданная руда	1—1,5
	Полиметаллическая руда	5 (иногда несколько десятков, г/т)
	Сульфоантимонитовая руда	4 (иногда до 30)
	Антимонитовая руда	2—3
	Пирит	10—50
	Халькопирит	10—30
	Сфалерит	10—100
	Блеклые руды	10—100
	Галенит	10—50
	Антимонит	10—30
Буланжерит	10—30	
Гюмушхана	Полиметаллическая руда	1,5—2
	Галенитовая руда	2 (иногда 8—10)
Газма	Полиметаллическая руда	0,1—0,5
	Свинцово-цинковая руда	0,9
Варденис	Полиметаллическая руда	1,5—2
	Медно-мышьяковая руда	1,2 (иногда и больше)

*Примечание.* Данные Э. А. Сагателян, А. А. Асатряна, Ш. О. Амиряна и А. Г. Акопяна, В. О. Пароникяна.

В рудах полиметаллической формации золото-серебряное отношение колеблется от 1:400 до 1:80. При этом низкое значение характерно для антимонитовых и сульфоантимонитовых руд, а высокое—для полиметаллических руд Каялинского рудного поля, где установлены сравнительно высокие концентрации золота.

Низкое золото-серебряное отношение в рудах полиметаллической формации обусловлено химическим и минеральным составом руд. В них довольно высоки концентрации свинца и сурьмы, с которыми предпочитает ассоциироваться, как отмечает В. В. Щербина (1956), серебро, а с мышьяком, элемен-

тами группы железа, висмутом и теллуrom—золото. Поэтому в галенитах и сульфосолях сурьмы, свинца, меди и нередко мышьяка устанавливаются наиболее высокие концентрации серебра. Руды, обогащенные отмеченными минералами, характеризуются низким золото-серебряным отношением. В тех месторождениях и участках, где наблюдаются повышенные концентрации мышьяка, висмута и теллура, высока также концентрация золота, следовательно, и золото-серебряное отношение.

Месторождения золоторудной формации по своим запасам и перспективам имеют первостепенное значение. По минеральному составу среди руд золоторудной формации выделяются золото-сульфидные, золото-шеелитовые и золото-теллуровые. В первом и во втором типах руд золото в основном представлено самородными частицами с подчиненной ролью теллуридов (в золото-сульфидном), а в третьем типе, наряду с самородной формой, большое значение приобретают теллуриды.

В табл. 155 приведены содержания золота в рудах, концентратах и минералах золоторудных месторождений (в рудах по пробирным, а в концентратах и минералах—по спектральным и химико-спектральным анализам)

Как видно из табл. 155, золоторудные месторождения характеризуются комплексностью руд. Так, на Зодском месторождении золото находится в арсенопиритовых, полиметаллических и золото-теллуридных рудах, где наряду с золотом практическое значение приобретают также серебро, теллур, висмут, нередко селен и кадмий. На Меградзорском месторождении оно находится главным образом в полиметаллических и золото-теллуридных типах руд, характеризующихся высокими содержаниями серебра, теллура, висмута и отчасти кадмия. На Амзачиманском месторождении основные концентрации золота установлены в шеелитовых и полиметаллических рудах, где совместно с золотом определенное значение могут приобрести серебро, висмут и вольфрам. В рудах Личкваского месторождения золото в основном концентрируется в полиметаллическом и арсенопиритовом типах руд и отчасти пирит-халькопиритовом. Наряду с золотом руды характеризуются повышенными и высокими содержаниями серебра и висмута.

В золоторудных месторождениях золото в одном случае ассоциирует с сульфидами: арсенопиритом, пиритом, галенитом, сфалеритом, полидимитом, кобальтином, линнеитом, пирротинитом и другими (Зод, Личквас, Меградзор), а в другом—с теллуридами: калаверитом, креннеритом, сальванитом, петцитом, гесситом, нагиагитом, алтанитом, мелонитом и другими

Содержания золота в рудах, концентратах и минералах золоторудных месторождений, г/т (по Ш. О. Амиряну)

Руды, концентраты и минералы	М е с т о р о ж д е н и я			
	Зодское	Меградзорское	Личк-вазское	Амзачиманское
Пиритовая руда (штуф)	—	13,8	1,7	1,3
Пирит-арсенопиритовая руда (штуф)	43,3	—	63,1	—
Полиметаллическая руда (штуф)	19,0	59,2	65,8	6,85
Золото-теллуровая руда (штуф)	463,2	4052,6	—	—
Пирит-халькопиритовая руда (штуф)	—	—	2,17(Тей)	—
Молибденитовая руда (штуф)	—	—	—	1,65
Шеелитовая руда (штуф)	—	—	—	7,96
Антимонитовая руда (штуф)	8,4	—	—	—
Пиритовый концентрат	—	500	20—50	10—20
Арсенопиритовый концентрат	53	—	200—250	—
Полиметаллический концентрат	390	2400	150—200	100—200
Медный концентрат	20	—	20	—
Золото-теллуровый концентрат	11000	39400	—	—
Медно-мышьяковый концентрат	—	100	—	—
Пирит	110	280	10—30	5—20
Арсенопирит	130	—	100—200	40
Сфалерит	35	80	30—50	—
Халькопирит	42	100—480	10—30	—
Марказит	32	—	—	—
Пирротин	8—10	—	—	—
Антимонит и сульфoантимониты	Сл. —30	—	—	—
Галенит	100	320	30—50	510
Блеклая руда	150	1000 (и более)	100—300	650
Шеелит	—	—	—	60
Теллурувисмутит	2900	—	—	—
Тетрадимит	3000	—	—	—
Алгаит	3000	3000	—	—
Мелонит	1000	—	—	—
Сильванит	—	Более 100000	—	—
Петцит	—	Более 100000	—	—
Охры	10	—	—	—
Вторичные минералы теллура	12800	—	—	—
Карбонаты	7	14	—	—

(Зод, Меградзор, Амзачиман). На Амзачиманском месторождении золото ассоциирует также с шеелитом. Кроме крупнодисперсного золота, установлено также наличие тонкодисперсного рассеянного в сульфидах (пирите, арсенопирите, сфалерите, халькопирите, пирротине и др.). На некоторых месторождениях (Зод, Амзачиман, Меградзор) преобладает тонкодисперсное золото.

Самородное золото представлено в листоватых, чешуйковидных, скелетообразных, изометрических, удлиненных и других формах. Размер золотин колеблется в широких пределах—до 0,3 см для изометрических, 0,5 см в длину для удлиненных и 1—1,5 см<sup>2</sup> для пластинчатых, листоватых. Золото развивается по трещинкам, контактам зерен и агрегатов жильных и рудных минералов, иногда образуя прожилки длиной 1,5—2 см. Роль минералов в осаждении золота из гидротермальных растворов проявляется по-разному. В одних случаях (пирит, сфалерит, арсенопирит, галенит и др.) осаждению золота из растворов способствует наличие тонких микротрещин катаклаза, увеличивающих активную поверхность соприкосновения минералов с растворами, в других—близкое одновременное выделение их из растворов (галенит, блеклая руда, сульфосоли и теллуриды), когда отмеченные минералы и золото совместно отлагаются в определенных участках рудных тел, при этом, нередко, выделяющиеся минералы включают его в себя; в третьих случаях действуют осаждающие свойства, сродство и химическая активность элементов, электрохимическое взаимодействие минералов и т. д. В зависимости от того, какие из перечисленных факторов проявляются и в какой степени, а также от количественного проявления минералов находится и приуроченность золота к ним.

Среди сульфидов, теллуридов и сульфосолей, кроме теллуридов золота и серебра, довольно высоким содержанием золота характеризуются пирит, арсенопирит, блеклая руда, сфалерит, галенит, халькопирит, алтаит, мелонит и теллуrowисмутит, т. е. преобладающие в рудах минералы. По содержанию золота минералы для различных месторождений составляют наиболее часто проявляющийся ряд с небольшими отклонениями. Так, для Зодского месторождения по увеличению концентрации золота в минералах их можно расположить в такой ряд: антимонит, сфалерит, марказит, халькопирит, галенит, пирит, арсенопирит, блеклая руда, мелонит, теллуrowисмутит и алтаит; для Меградзорского—сфалерит, халькопирит, пирит, галенит, алтаит, блеклая руда; Личкваского—сфалерит, халькопирит, галенит, пирит, арсенопирит и блеклая руда; для Амзачиманского месторождения—шеелит, сфалерит, пирит, галенит и блеклая руда. По химическим анализам проба золота (в%) в пределах 840—950. Самая высокая проба установлена у вторичного золота—953 (Зодское месторождение).

В зоне окисления золоторудных месторождений, наряду с остаточным первичным золотом, освобожденным при разрушении сульфидов, часто наблюдается гипергежное золото, выделявшееся из растворов среди вторичных минералов желе-

за, марганца, мышьяка и др. Часто гипергенное золото образуется за счет разрушения теллуридов золота и серебра. Такое золото обычно тонкой пылевидной или моховидной формы, с более темной бурой окраской.

В гипергенных условиях золото растворяется и мигрирует. Существует ряд гипотез о миграции золота: механическая, суспензионная, коллоидная, галлоидная, сульфатная, органическая и электрохимическая. На Зодском золоторудном месторождении отмечаются факты, подтверждающие миграцию золота в пределах зоны окисления. Спектральными и химико-спектральными анализами золото совместно с железом, никелем, кобальтом, цинком, свинцом, медью, висмутом, серебром, кальцием, магнием и кремнием было установлено в золе сердцевины древнего деревянного крепления. Золото установлено в сухих остатках рудничных вод, тонкие чешуйки золота обнаруживались в густом лимонитизированном растворе темно-бурого цвета, вытекающем из друзовидной полости кварц-сульфидной жилы гребенчатого строения. Золото микроскопически наблюдается в трещинах усыхания лимонитов. В последнем случае остается такое впечатление, будто золото выделялось из растворов и заполняло готовые к этому времени трещины. Приведенные данные позволяют предполагать, что миграция золота происходила в механической, растворенной, а также, возможно, суспензионной и коллоидаальной формах.

За счет разрушения коренных выходов золоторудных жил в бассейнах рек Мармарик, Агстев и Сот (Масрик) образовались золотоносные россыпи.

Месторождения золоторудной формации Армении генетически связываются в основном с молодыми (третичными) гранитоидами и являются средне-низкотемпературными гидротермальными образованиями средних—малых глубин. Несколько спорным является Амзачиманское месторождение, которое считается высоко-среднетемпературным (Э. М. Мадатян и др.). Однако обнаруженная здесь ассоциация теллуридов и характер изменения пород и другие минералого-геохимические признаки указывают на довольно широкий температурный диапазон образования золоторудной минерализации.

Анализ имеющихся материалов по рудным месторождениям и проявлениям позволяет считать, что: а) все интрузивные циклы золотоносны, однако в различной степени (И. Г. Магакьян; А. Г. Мидян; И. Г. Магакьян, Ш. О. Амирян, 1967; Ш. О. Амирян, 1968). Среди них наиболее продуктивны эоцен-олигоцен-миоценовые циклы.

б) золото проявляется со всеми типами сульфидных руд Армении, однако основные промышленные концентрации его

связаны с коренными золоторудными месторождениями, расположенными в Севано-Амасийской и Памбак-Зангезурской структурно-металлогенических зонах.

в) золоторудные месторождения относятся к следующим формациям руд: золото-теллуровой (Зод, Меградзор, Намазелян); золото-сульфидной (Личкваз, Gearчин, Фиолетово, Сарнахпюр и др.); золото-шеелитовой (Амзачиман).

Наибольшие перспективы имеет Зодское месторождение, где сочетаются золото-сульфидные и золото-теллуровые минеральные типы руд.

г) золоторудное оруденение относится к гидротермальному типу, где золото приурочено в основном к средним или поздним, средне-низкотемпературным стадиям рудного процесса.

д) золото отлагается из растворов после сульфидов и сульфосолей, близко по времени к выделению теллуридов свинца, висмута, серебра и золота. Оно тесно ассоциирует с серебром, висмутом и теллуrom, что свидетельствует о геохимической связи золота в процессе эндогенного рудообразования с отмеченными элементами.

е) в рудах золото присутствует в виде самородных частиц и теллуридов. Преобладающим является тонкодисперсное золото. Оно характеризуется высокопробностью, причем самая высокая проба (953) отмечена у вторичного золота из Зодского месторождения.

Золото-серебряное отношение для коренных золоторудных месторождений колеблется от 1:20 до 1:2. При этом повышенным значением характеризуются золото-теллуровые руды. Сравнительно низко золото-серебряное отношение в арсенипиритовых, полиметаллических, шеелитовых и молибденитовых (Амзачиман) типах руд.

Повышенное значение золото-серебряного отношения в рудах золоторудных месторождений обусловлено условиями образования, минеральным составом и металлогенической специализацией олигоцен-миоценового магматического цикла, с чем связывается золоторудная минерализация.

Говоря о золото-серебряном отношении вообще в рудных формациях Армянской ССР, следует отметить, что оно по сравнению с другими регионами довольно высоко и обусловлено металлогеническими и геологическими особенностями строения территории республики. Как следует из вышеприведенных данных, золото в высоких и повышенных концентрациях находится почти во всех формациях руд, поэтому территорию республики можно считать золотоносной провинцией.

## 8. Серебро

В геохимических процессах выступает обычно как одновалентный ион с радиусом 1,13 Å (по В. М. Гольдшмидту) и 1,26 Å (по Паулингу). В наружном слое серебро, аналогично щелочным металлам, имеет один электрон, однако по физико-химическим свойствам резко отличается от последних. С высоким значением ионизационного потенциала (7,58 eV) связана сравнительно меньшая его активность в химических и геохимических процессах по сравнению с щелочными металлами. Как в верхней части литосферы, так и в метеоритах серебро ведет себя как типичный халькофильный элемент (В. М. Гольдшмидт, 1954), в эндогенных процессах скорее связывается с серой или же со сходными с ней ионами и почти не входит в силикаты или соли кислородных кислот. Кларк серебра в земной коре составляет  $1 \cdot 10^{-5} \%$ .

Главная масса добываемого промышленностью серебра падает на руды гидротермального происхождения: примерно половина мирового производства серебра извлекается попутно из руд полиметаллических месторождений, другая половина—из месторождений серебряных и золото-серебряных руд.

Серебро является характерной примесью в сульфидных рудах различных формаций Армянской ССР. Анализ большого материала показывает, что повышение концентрации серебра обычно приурочено к рудам, формирующимся в среднетемпературных и переходных к низкотемпературным условиям рудообразования. Крайние члены последовательного ряда месторождений или формаций руд, расположенные по температурному градиенту—высокотемпературные (магматические: формации хромитовых, титаномагнетитовых, платиновых руд; магматические и гидротермально метасоматические формации апатит-магнетитовых, скарново-железородных, скарново-медных и скарново-медно-молибденовых руд) и низкотемпературные (формации антимонитовых, киноварных, реальгар-аурипигментовых руд) обычно равным образом бедны серебром\*. Можно выделить следующие главные типы серебряносодержащих рудных формаций Арм. ССР, в которых серебро приобретает практическое значение: колчеданная, полиметаллическая, свинцово-цинковая, золото-сульфидная и золото-теллуровая, медно-молибденовая.

Различные типы и подтипы руд колчеданной формации характеризуются разными содержаниями серебра и формой его

\* Содержания серебра в рудах и минералах указанных формаций руд обычно находится на грани и ниже чувствительности спектрального ( $1 \cdot 10^{-4} \%$ ) и пробирного ( $1 \cdot 10^{-5} \%$ ) методов.

нахождения. Серноколчеданные типы руд содержат обычно от нескольких г/т до 10 г/т серебра (Алаверди, Шамлуг, Ахтала). Повышенным содержанием серебра характеризуются серноколчеданные руды, развитые в Севано-Амасийской зоне (Чибухлы, Тандзут). В рядовых рудах содержание серебра составляет 5—7 г/т. Пириты этих руд содержат обычно 3—10 г/т Ag.

Содержание серебра в медноколчеданных рудах составляет 2,5—5,0 г/т и, реже, доходит до нескольких десятков г/т (Алаверди, Шамлуг, Кафан, Агви, Чибухли). Серебро здесь в основном накапливается в халькопирите в количестве 10—30, иногда до 100 г/т.

В пиритах этого парагенезиса содержание серебра обычно низкое (3—7 г/т). При обогащении большая часть заключенного в рудах серебра переходит в медный концентрат, содержащий 40—50 до 65 г/т серебра (Кафан).

Более поздние—халькозин-борнитовые руды, развитые на Кафанском месторождении, обогащены серебром по сравнению с медноколчеданными рудами. В главных рудообразующих сульфидах этой ассоциации установлены в среднем 48,6 г/т (борнит) и 80,1 г/т (халькозин) серебра.

Полиметаллический тип руды рассматриваемой формации, отлагающийся в конечные стадии рудного процесса, характеризуется высокими содержаниями серебра: в рядовых рудах 50—150 г/т, иногда и больше (Шамлуг, Ахтала, Шаумян-Халадж, Тандзут и др.). Более низкие содержания в этом типе руд приурочены к медно-цинковым подтипам—30—80 г/т (Ахтала, Бендик), в то время как в полиметаллических и свинцовых подтипах содержание серебра составляет от несколько сот граммов до несколько кг/т. Серебро в основном накапливается в галените (200—350 г/т) и блеклой руде (791—3000 до 25 000 г/т) в меньшей степени в халькопирите (40—50 г/т), сфалерите (обычно 20—30 г/т) и пирите. В рудах Ахтальского месторождения наблюдаются положительные корреляционные зависимости между содержаниями серебра, меди и свинца (В. О. Пароникян, 1963, 1967).

В рудах Шаумян-Халаджа наряду с изоморфной формой (в халькопирите, галените) большая часть серебра представлена в виде теллуридов (гессит, петцит, калаверит-креннерит). Рудообразующие сульфиды этого месторождения характеризуются близкими содержаниями серебра (319—353 г/т).

В этой формации резко повышенным содержанием рассматриваемого элемента характеризуются поздние и относительно более низкотемпературные борнитовые руды, развитые в месторождениях Алавердского рудного района (Алаверди, Шамлуг, Ахтала). На Ахтальском месторождении небольшие

гнезда и жилы указанных руд приурочены к приконтактовым участкам барита и полиметаллической линзы. Содержание серебра в этих рудах достигает 3—10%. Наряду с серебром борнитовые руды обогащены также золотом. Главная масса серебра в этих рудах присутствует в виде собственных минералов—самородного серебра, электрума, аргентита, штроейерита, стефанита, ялпаита и др.

Значительные концентрации серебра отмечаются в рудах полиметаллической формации, развитой в пределах Памбак-Зангезурской структурно-металлогенической зоны. Здесь полиметаллические руды тесно связаны с медно-молибденовой формацией, нередко располагаясь на флангах рудных полей последней или представляя позднюю стадию рудного процесса, развивающегося от медно-молибденовой к полиметаллической формации. В рудах содержание серебра обычно составляет 30—100 г/т (Газма, Каялу) и до 300 г/т (Гюмушхана). Резко повышенным содержанием серебра характеризуются свинцово-сурьмяные руды Азатекского месторождения (до нескольких кг/т).

Главная масса серебра в рудах этой формации присутствует в виде изоморфной примеси в сульфидах; установлены микровключения собственных его минералов (аргентит, самородное серебро, матильдит, миаргирит, гессит и т. д.). Из рудообразующих сульфидов серебро в наибольшей степени накапливается в галените (400—1728 г/т), блеклой руде (2026—51300 г/т), сульфоантимонитах свинца и меди (11675 г/т) и в меньшей степени в более ранних сульфидах—пирите (9—90 г/т), сфалерите (5,6—95,0 г/т), халькопирите (40—190,3 г/т) и др.

В рудах отмечаются положительные корреляционные зависимости между содержаниями Ag и Sb, Ag и Bi, Ag и Au. Эти зависимости, как показывает анализ материала, обусловлены их сходным поведением в процессе рудообразования, приводящим к совместному накоплению в определенных типах руд. В частности, установленный порядок возрастания содержания висмута в ряду сфалерит-пирит-арсенопирит-халькопирит-галенит-сульфоантимониты свинца и меди—блеклая руда в полной мере относится и к серебру (В. О. Пароникян, 1962).

Свинцово-цинковые руды преимущественно развиты в Алаверди-Кафанской зоне (месторождения бассейна р. Марцигет, Привольное, Мовсес) и по сравнению с рудами колчеданно-полиметаллической и полиметаллической формаций руды вышеуказанных месторождений характеризуются сравнительно низкими содержаниями серебра (в рудах Мовсесского месторождения содержание серебра составляет 18,6 г/т). Основная его масса приурочена к галениту и в меньшей мере

сфалериту. В галенитах Мовсеса установлено в среднем 127,8 г/т серебра (В. О. Пароникян, 1967), в галенитах Марцигета 450 г/т и Привольненского месторождения—210 г/т (А. А. Коджоян). В сфалерите содержание серебра доходит до 50 г/т.

Медно-молибденовая формация характеризуется низким содержанием серебра, однако наличие крупных запасов руд значительно повышает их ценность в отношении сереброносности. Серебро присутствует в качестве изоморфной примеси в главном сульфиде—халькопирите, в меньшей мере—борните, молибдените и пирите; собственные минералы (аргентит и др.) устанавливаются редко. При обогащении этих руд большая часть серебра переходит в медный концентрат, содержащий 30—70—до 130 г/т серебра (Каджаран, Дастакерт).

Отмечается повышение содержания серебра в рудах полиметаллической стадии минерализации (Г. О. Пиджян, 1958; А. С. Фарамазян, 1958) с преобладающей ролью сфалерита и галенита и небольшим развитием теллуридов Au, Ag и Bi. Содержание серебра низкое в рудах более ранних парагенетических ассоциаций минералов, однако в количественном отношении они концентрируют главную массу серебра (А. С. Фарамазян).

Серебро присутствует во всех рудообразующих сульфидах. Отмечается следующая последовательность возрастания содержания серебра в месторождениях Каджаран, Дастакерт, Анкаван, Айгедзор, Капуджух, Джиндара: пирит (обычно 0,001 до 0,01%), молибденит (0,001—0,003%), халькопирит (обычно 0,001—0,005 до 0,1%) и галенит (0,01—0,03 до 0,3%).

Содержание серебра в рядовых рудах золоторудных месторождений обычно невысокое—10—30 г/т (Зод, Анкаван, Амзачиман, Меградзор и др.) и доходит до нескольких кг/т, особенно в жилах, богатых теллуридами (Ш. О. Амирян, 1960). Наблюдается относительное возрастание содержания серебра в более поздних стадиях минерализации—медно-мышьяковой (Анкаван), полиметаллической (Зод, Анкаван, Меградзор, Личквас), золото-теллуровой и сульфоантимонитовой (Зод, Меградзор) стадий минерализации. Количественные соотношения изоморфной формы серебра в сульфидах и собственных его минералов различны в разных месторождениях и парагенезисах. В золото-теллуровых стадиях содержание серебра контролируется его собственными минералами—гесситом, сивьянитом, калаверитом, креннеритом, в меньшей степени аргентитом и самородным серебром (Зод, Меградзор).

В вышеотмеченных типах руд сравнительно низкими содержаниями серебра характеризуются пирит, арсенопирит, халькопирит и сфалерит (0,001—0,01%). Более высокие его

Частота встречаемости и средние содержания серебра в главных рудных минералах колчеданной формации (по В. О. Пароникану)

Название минерала	Месторож- дения*	Стадии минерали- зации**	Число проб	Частота встречаемости, %											Среднее содер- жание по дан- ным пробир- ных анализов. г/т	
				Не обн.	0,0001 0,0003	0,0003 0,001	0,001 0,003	0,003 0,01	0,01 0,03	0,03 0,1	0,1 0,3	0,3 1,0	1-3	3-10		
Пирит	1	I	3	—	66,7	33,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,9
		II	14	21,4	28,6	42,8	7,2	—	—	—	—	—	—	—	—	6,9
		V	9	—	44,5	22,2	—	22,2	—	—	21,1	—	—	—	—	50,0
	2	I	4	25,0	25,0	50,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,5
II		4	—	—	50,0	25,0	25,0	—	—	—	—	—	—	—	7,8	
V VII		7 6	—	—	57,1	14,3	11,3	—	—	—	—	—	—	—	15,0	
3	I	9	—	11,1	22,2	22,2	44,5	—	—	—	—	—	—	—	10,4	
	II	17	—	—	23,3	58,8	—	—	—	—	—	—	—	—	15,7	
	III+IV	16	6,2	—	37,5	56,3	—	—	5,9	—	—	—	—	—	10,9	
	V	2	—	—	50,0	50,0	—	—	—	—	—	—	—	—	15,0	
Всего		91	5,5	13,2	35,2	27,5	11,0	4,4	3,3	—	—	—	—			
Халькопирит	1	II	21	—	—	38,1	57,1	4,8	—	—	—	—	—	—	12,6	
		V	13	—	—	—	76,9	23,1	—	—	—	—	—	—	45,0	
	2	II	7	—	—	—	14,3	85,7	—	—	—	—	—	—	23,4	
		V	23	—	—	—	4,3	47,8	—	—	—	—	—	—	39,5	
VI VIII		9 1	—	—	—	11,1	—	34,9	13,0	11,1	11,1	—	—	112,8		
3	II	26	3,8	—	11,5	53,9	30,8	—	—	—	—	—	—	31,8		
	III	7	—	—	14,3	85,7	—	—	—	—	—	—	—	53,5		
	V	25	—	4,0	12,0	40,0	24,0	12,0	4,0	4,0	—	—	—	353,0		
Всего		132	0,8	1,5	9,1	31,8	34,1	15,1	5,3	1,5	9,8	—	—			
Борнит	2	VI	19	—	—	—	—	—	—	5,2	31,6	31,6	31,6	16095,1		
	3	III	19	—	—	—	10,5	73,7	15,8	—	—	—	—	48,6		
	Всего		38	—	—	—	5,3	36,8	7,9	—	2,6	15,8	15,8	15,8		
Халькозин	3	III	6	—	—	—	—	66,7	16,6	16,7	—	—	—	80,1		
Энаргит	3	IV	7	—	—	28,6	28,6	42,8	—	—	—	—	—	18,2		
Теннантит	1	V	1	—	—	—	—	—	—	—	100	—	—	—	3000,0	
	2	V	5	—	—	—	—	—	—	40,0	60,0	—	—	—	791,6	
		VI	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	33,3	33,3	25000,0	
	3	III+IV+ +V	6	—	—	—	16,7	33,3	16,7	33,3	—	—	—	—		
Всего		15	—	—	—	6,7	13,3	19,9	39,3	6,7	6,7	6,7	6,7			
Сфалерит	1	V	17	—	—	29,4	11,8	47,0	11,8	—	—	—	—	—	20,2	
	2	V	38	—	—	10,5	34,2	50,9	5,3	—	—	—	—	—	29,1	
	3	V	29	—	—	3,4	41,4	27,6	20,7	—	6,9	—	—	—	319,2	
	Всего		84	—	—	11,9	32,1	41,7	11,9	—	2,4	—	—	—		
Галенит	1	V	5	—	—	—	—	60,0	40,0	—	—	—	—	—	219,2	
	2	VI	10	—	—	—	—	10,0	40,0	50,0	—	—	—	—	338,2	
		VI	3	—	—	—	—	—	—	33,3	—	—	—	66,7	50000,0	
	3	V	16	—	—	—	—	6,3	43,7	50,0	—	—	—	—	343,8	
Всего		34	—	—	—	—	20,6	32,3	41,2	—	—	—	6,9			
Барит	2	V VIII	4 15	50,0 20,0	25,0 13,3	25,0 33,4	— 20,0	— 13,6	—	—	—	—	—	—	9,02	

\* 1—Шамдугское, 2—Ахталское, 3—Кафанское.

\*\* I—пиритовая, II—пирит-халькопиритовая, III—халькозин-борнит-энаргитовая, IV—теннантит-энаргитовая, V—полимегаллическая, VI—борнит-теннантитовая, VII—баритовая, VIII—кварц-карбонатная.

Частота встречаемости и средние содержания серебра в главных рудных минералах полиметаллической формации (по В. О. Пароникяну)

Название минерала	Месторождения*	Стадии минерализации**	Число проб	Частота встречаемости, %											Средние содержания по данным пробирных и хим. анализов, г/т
				Не обн.	0,0001 0,0003	0,0003 0,001	0,001 0,003	0,003 0,01	0,01 0,03	0,03 0,1	0,1 0,3	0,3 1,0	1,0 3,0	3,0 10,0	
Пирит	1	II	7	—	14,3	42,9	14,3	28,5	—	—	—	—	—	—	10,9
		III	5	—	—	40,0	40,0	20,0	—	—	—	—	—	—	17,0
	2	I+II+III	6	—	—	—	—	83,3	16,7	—	—	—	—	—	80,0
	3	II	8	12,5	—	12,5	—	75,0	—	—	—	—	—	—	30,3
		III	23	—	—	30,4	21,7	43,5	4,4	—	—	—	—	—	87,4
		I	7	14,3	14,3	28,5	28,5	14,4	—	—	—	—	—	—	9,4
		III	3	—	—	—	—	33,3	66,7	—	—	—	—	—	200,0
		IV	8	—	—	25,0	25,0	37,5	12,5	—	—	—	—	—	143,0
	Всего		67	3,0	3,0	25,4	17,9	43,3	7,5	—	—	—	—	—	
Халькопирит	1	II	8	—	—	—	12,5	87,5	—	—	—	—	—	—	41,8
		III	3	—	—	—	—	66,7	33,3	—	—	—	—	—	70,0
	2	II+III	12	—	—	—	—	16,7	50,0	25,0	8,3	—	—	—	190,3
	3	II	8	—	—	—	12,5	62,5	25,0	—	—	—	—	—	40,5
		III	12	8,3	—	16,7	33,3	41,7	—	—	—	—	—	—	41,0
	Всего		43	2,3	—	4,6	13,9	48,8	20,9	7,0	2,3	—	—	—	
Сфалерит	1	III	7	—	—	57,2	14,2	28,6	—	—	—	—	—	—	15,5
	2	III	9	—	—	11,1	11,1	55,6	22,2	—	—	—	—	—	71,4
	3	III	39	10,2	5,1	48,7	23,1	10,2	—	—	—	—	—	—	5,6
	4	IV	13	—	7,1	15,3	23,6	15,2	23,0	15,2	—	—	—	—	95,0
		Всего		68	5,9	4,4	38,2	22,0	17,6	7,4	2,9	—	—	—	—
Галенит	1	III	10	—	—	—	—	—	10,0	30,0	50,0	10,0	—	—	1728,1
	2	III	11	—	—	—	—	—	45,5	45,5	9,0	—	—	—	736,3
	3	III	38	—	—	—	—	—	42,1	52,6	5,3	—	—	—	407,9
	4	IV	9	—	—	—	—	—	11,1	55,5	33,3	—	—	—	998,7
		Всего		68	—	—	—	—	—	33,8	48,5	16,2	1,5	—	—
Блеклая руда	1	III	13	—	—	—	—	—	—	69,2	30,8	—	—	—	2026,1
	2	III	9	—	—	—	—	—	—	—	11,1	77,8	11,1	—	4884,3
	3	III	16	—	—	—	—	—	—	12,5	37,5	37,5	12,5	—	2446,0
		Всего		38	—	—	—	—	—	—	28,9	28,9	34,2	8,0	—
Сульфоантимониты	4	IV	31	—	—	—	—	—	16,1	25,8	9,7	25,7	9,7	13,0	11675,1
Арсенопирит	1	III	1												30,0
Борнит	1	III	1												500,0
Айкинит	2	III	1												50000,0
Антимонит	4	V	6												22,7

\* 1 — Каялинское, 2 — Гюмушханское, 3 — Газминское, 4 — Азатекское.

\*\* I — кварц-карбонат-пиритовая, II — пирит-халькопиритовая, III — полиметаллическая, IV — сульфоантимонитовая, V — кварц-антимонитовая.

концентрации приурочены к галенитам (0,01—0,1%), блеклым рудам (0,1—0,3%) и теллуридам свинца и висмута (0,1—0,3%).

Наиболее полные данные, позволяющие определить поведение серебра в гидротермальных процессах, имеются по колчеданным и полиметаллическим формациям руд. В табл. 156 и 157 приведены содержания серебра и частота их встречаемости в главных рудообразующих минералах по стадиям минерализации вышеотмеченных руд. Эти данные с учетом результатов исследования из других формаций руд, изложенные выше, позволяют определить ряд общих особенностей геохимии серебра в гидротермальных месторождениях, что, с другой стороны, позволяет наметить парагенетические ассоциации минералов по степени обогащенности серебром.

Серебро является одним из широко распространенных элементов в рудах и вместе с тем имеет весьма неравномерное распределение. Одни и те же минералы в разных месторождениях и парагенетических ассоциациях характеризуются различными концентрациями серебра, которые вместе с тем значительно меняются при переходе от одного минерального вида к другому. Следует при этом отметить, что особенно в широких пределах варьирует содержание серебра в пирите, халькопирите, сфалерите и др. Концентрация этого элемента в пиритах Ахтальского месторождения значительно возрастает в поздних его генерациях, достигая максимума в пирите VII (в среднем 287,5 г/т). Аналогичные изменения в содержании серебра наблюдаются и в халькопирите Шамдугского, Ахтальского, Кафанского и других месторождений. Высокие концентрации серебра постоянно наблюдаются в галените (от нескольких сот г/т до 0,2%), в блеклой руде (0,08—5,13%), в айкините (до 5,0%), в сульфоантимонитах свинца и меди (в среднем 1,17%), а также в теллуридах висмута, свинца и золота.

Намечается следующий общий ряд минералов по возрастанию содержанию серебра: пирит (молибденит), сфалерит, арсенопирит, халькопирит, халькозин, борнит, сульфоантимониты свинца и меди, блеклая руда.

На одном из последних мест этого ряда стоят также теллуриды. Перечисленный порядок примерно соответствует последовательности образования минералов. Таким образом, в пределах отдельных стадий минерализации концентрация серебра неуклонно возрастает от ранних к более поздним минералам, в соответствии с последовательностью их образования.

Анализ накопленного фактического материала показывает, что начальные члены вышеприведенного последовательного ряда минералов с некоторыми исключениями обычно более

интенсивно развиваются в ранних парагенезисах и постепенно вытесняются последующими при переходе в более поздние рудные стадии минерализации (В. О. Пароникян, 1964). Подобным распределением минералов определяются концентрации серебра по стадиям минерализации. Так, в колчеданной формации содержание серебра относительно возрастает в следующей последовательности стадий (рис. 70, 71, 72): пирито-

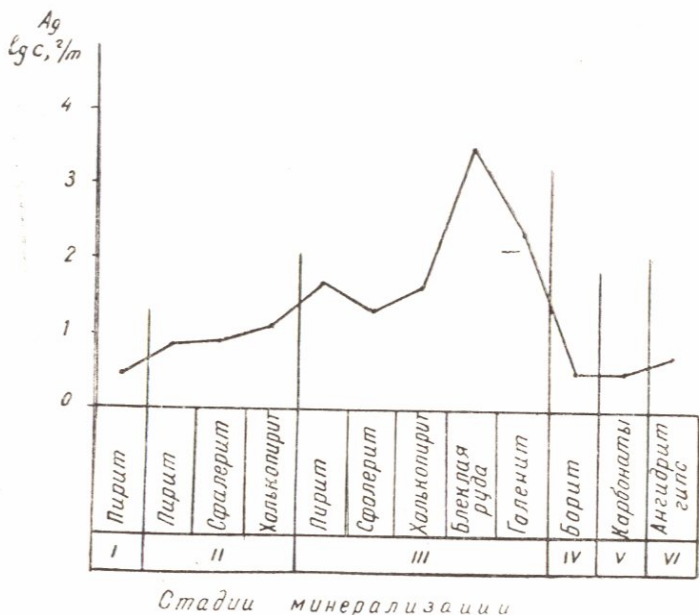


Рис. 70. Распределение серебра в минералах по стадиям минерализации Шамлугского месторождения. По В. О. Пароникяну.

вая, пирит-халькопиритовая, халькозин-борнитовая, полиметаллическая, борнит-теннантитовая. В полиметаллической формации довольно четко вырисовывается следующая последовательность: кварц-карбонат-пиритовая, пирит-халькопиритовая, полиметаллическая и сульфоантимонитовая (рис. 73). Вышеприведенные последовательности стадий соответствуют хронологической последовательности их образования. Таким образом, в ходе эволюции гидротермальных процессов концентрация серебра прогрессивно возрастает от ранних к поздним и сравнительно низкотемпературным рудным стадиям, причисляясь к наиболее поздним рудным минералам (В. О. Пароникян, 1962, 1963, 1964, 1967). Однако, следует отметить, что наблюдается резкое падение концентрации серебра в за-

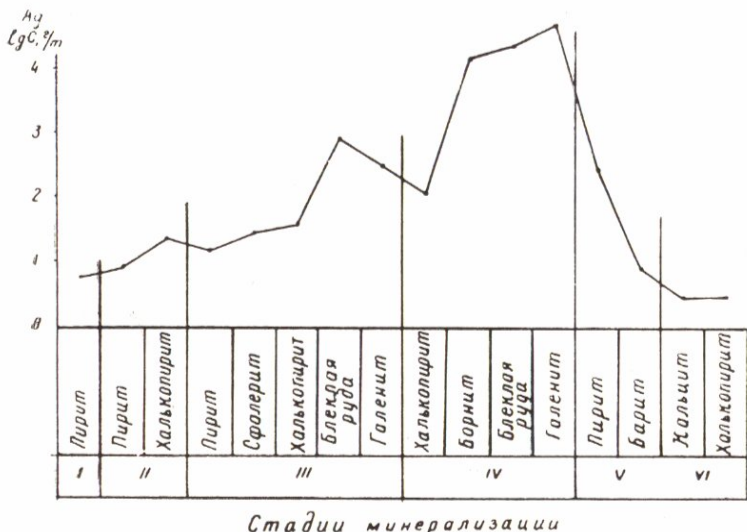


Рис. 71. Распределение серебра в минералах по стадиям минерализации Ахталского месторождения. По В. О. Пароникяну.

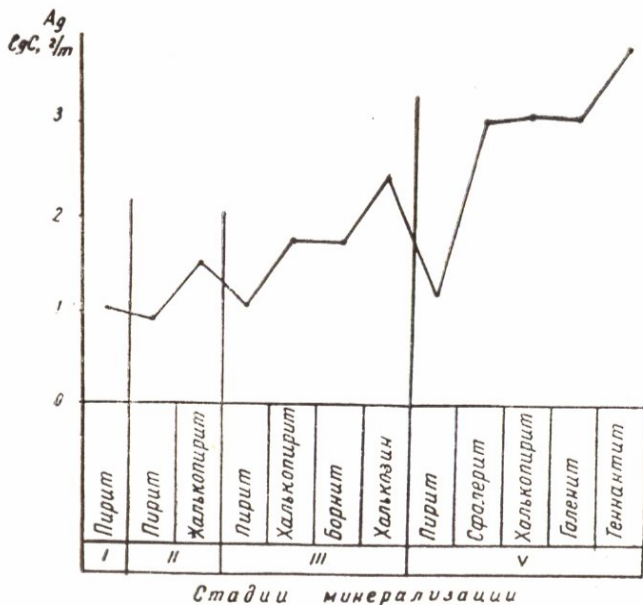


Рис. 72. Распределение серебра в минералах по стадиям минерализации Кафанского месторождения. По В. О. Пароникяну.

вершающих рудный процесс безрудных стадиях минерализации—баритовой, кварц-карбонатной и ангидрит-гипсовой (рис. 70, 71, 73). Наряду с этим, низким содержанием серебра характеризуются также заключительные кварц-антимонитовые и реальгар-аурипигментовые стадии или этапы минерализации (в антимоните, реальгаре и аурипигменте содержание серебра доходит до 0,003%), развитые в Памбак-Зангезурской и Севано-Амасийской зонах.

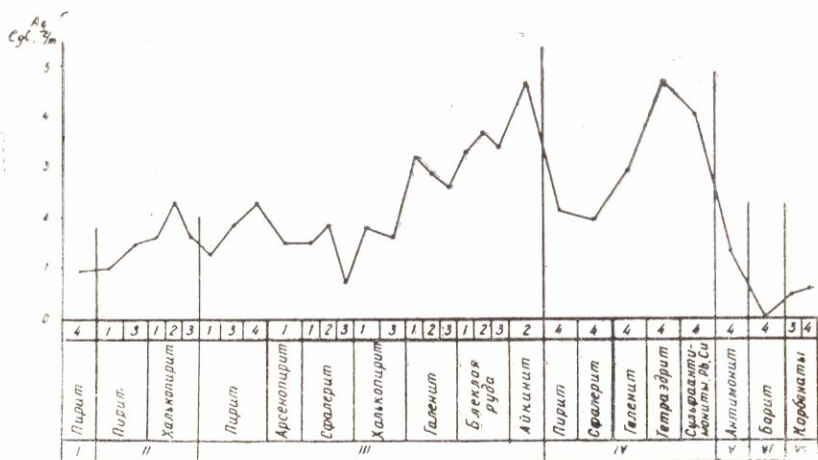


Рис. 73. Распределение серебра в минералах по стадиям минерализации в месторождениях Айонцзорского рудного района. 1—Каялинское, 2—Гюмушханское, 3—Газминское, 4—Азатекское. По В. О. Пароникяну.

Из вышеизложенного следует, что содержание серебра в рядовых рудах отдельных месторождений в целом зависит от количественного соотношения как отдельных серебряносодержащих минералов, так и парагенетических их сочетаний. При этом в серноколчеданных, медно-серноколчеданных, медно-молибденовых рудах, где основная масса серебра концентрируется в халькопирите, его содержание варьирует от нескольких до 10 г/т. В полиметаллических и свинцово-цинковых рудах, в которых главное количество серебра сосредоточено в галените, блеклой руде и в меньшей мере в халькопирите, теллуридах и собственных минералах серебра, содержание серебра составляет от нескольких десятков до сотен г/т. В более поздних сульфидантимонитовых, борнит-теннантитовых и золото-теллуридных рудах в качестве носителей серебра возрастает

роль богатых серебром сульфоантимонитов свинца и цинка и собственных минералов серебра.

Анализ большого фактического материала показывает, что во многих месторождениях Армянской ССР, формировавшихся в средне- и в меньшей степени средне-низкотемпературных условиях, обогащенные серебром минералы и их ассоциации, как правило, тяготеют к верхним горизонтам или флангам рудных полей. Этим обстоятельством, по-видимому, вызвано падение содержания серебра в промышленных медных рудах и концентратах (табл. 158), добытых в более поздние периоды эксплуатационных работ, когда охватываются все более глубокие горизонты месторождений.

Таблица 158

Содержания серебра в рудах и медных концентратах некоторых месторождений

Название месторождения	Продукция	Содержание Ag, г/т	
		1957—1958 гг.	1962 г.
Ахталское	Медный концентрат	535,8	301,6
Шамлугское	Медная руда	4,8	2,4
Кафанское	Медный концентрат	70,0	41,7
Дастакертское	"	67,1	50,5

Следует, однако, заметить, что зональность оруденения в некоторых случаях выражена в такой форме, которая приводит к относительному обогащению серебром глубоких горизонтов рудных тел. В свинцово-сурьмяных низкотемпературных рудах Азатекского месторождения установлено, что в глубину интенсивность оруденения кварц-антимонитовой стадии падает сравнительно больше, чем сульфоантимонитовой; в этом же направлении заметно возрастает концентрация тетраэдрита за счет сульфоантимонитов свинца и меди (буланжерита, бурнонита, геокронита). В соответствии с этим содержания главных компонентов (Pb и Sb) на глубоких горизонтах рудных тел закономерно падают в несколько раз, в то время как количество серебра, приходящееся на 1% Pb и Sb, возрастает (табл. 159).

Обобщение большого фактического материала позволяет выделить следующий комплекс элементов: Au, Pb, Cu, Sb, Bi, Te и As, с которым серебро вступает в различные парагенетические сочетания. Парагенезис серебра с указанными компонентами обусловлен, с одной стороны, изоморфным вхожде-

Изменения содержания серебра в различных горизонтах рудных жил  
Азатекского месторождения

Название рудного тела	Горизонт, м	Количество г/т Ag на 1% Sb	Количество г/т Ag на 1% Pb
Жила 4	Шт. 7 (1301,7)	259,1	192,0
	Шт. 9 (1264,7)	364,2	631,3
	Шт. 10 (1266,7)		
Жила 6	Шт. 6 (1302,3)	17,2	31,3
	Шт. 10 (1266,45)	235,8	70,0
Жила 7	Шт. 7 (1301,7)	132,8	114,5
	Шт. 9 (1264,7)	1228,2	651,9

нием серебра в структуру их минералов (например, халькопирита, галенита, блеклой руды, сульфоантимонитов и сульфовисмутитов свинца и меди, теллуридов и т. д.) и, с другой— близко одновременным выделением минералов серебра с минералами указанных элементов, указывающим на сходное их геохимическое поведение в определенных условиях рудообразования. Количественные соотношения перечисленных выше компонентов значительно меняются в различных формациях и стадиях минерализации, при этом отдельные элементы вышеуказанного ряда могут выпадать из парагенезиса. Для различных месторождений и формаций руд можно наметить следующие сочетания компонентов: Ag—Cu (медноколчеданная и медно-молибденовая формации; месторождения Алаверди, Шамлуг, Кафан, Каджаран, Дастакерт и др.), Ag—Pb (Sb) (месторождения свинцово-цинковой формации: Мовсес, Привольное и др.), Ag—Pb—Sb (As) (полиметаллические руды Шамлуга и Ахталы), Ag—Au—Pb—Te (Bi) (полиметаллические руды Шаумян-Халаджского и месторождений золото-теллуровой формации), Ag (Au)—Pb—Sb—Bi (месторождения полиметаллической формации: Газма, Каялу, Личквас, Гюмушхана и др.) и т. д. Таким образом, индикатором повышенного содержания серебра в рудах, особенно для относительно более низкотемпературных формаций может служить наличие высоких концентраций свинца, сурьмы, висмута, теллура и др., что подтверждается и методом корреляционного анализа (В. О. Пароникян, 1962, 1963, 1967, 1967<sub>2</sub>). В этом отношении изучение взаимоотношений элементов Ag, Au, Bi, Pb, Sb, As и Te, наряду с геологоструктурными, магматическими и другими факторами, могут служить дополнительными индикаторами условий образования руд.

В частности, давно было обращено внимание на серебряно-золотое отношение, которое Г. Берг (1937) использует для сопоставления различных генетических групп золотых месторождений. Это отношение, по его данным, низкое для древних, высокотемпературных plutонических месторождений золота (1:1, 1:9 до 50:1) и более высокое для молодых золото-серебряных месторождений (до 100:1). В. В. Щербина (1956) указывает на более общее значение этого положения, а именно: золото-серебряное отношение низкое в глубинных высокотемпературных рудах, преимущественно древнего возраста, и вместе с тем возрастает в месторождениях близповерхностных и более низкотемпературных.

Изучение этого вопроса в различных месторождениях и формациях Армянской ССР показывает довольно сложный характер вариации серебряно-золотого отношения в зависимости от температуры и глубины формирования руд и др. (табл. 160). Как видно, в Алавердском рудном районе серебряно-золотое отношение возрастает (в несколько раз) от медноколчеданных (Шамлуг) к более поздним и низкотемпературным полиметаллическим рудам (Ахтала). Аналогичные тенденции наблюдаются и в рудах Айоцзорского рудного района, где  $Ag: Au$  низкое для Каялинского месторождения и высокое для относительно более низкотемпературных руд Газмы, Гюмушханы и Азатека.

Низким значением  $Ag: Au$  характеризуются также медные концентраты Каджаранского и Дастакертского месторождений, руды которых формировались в более высокотемпературных и plutонических условиях, чем месторождения Айоцзорского рудного района. В этом отношении заслуживает внимания то обстоятельство, что отношение  $Ag: Au$  в медных концентратах Дастакерта в два раза больше Каджаранского, что указывает на формирование руд последнего при более высоких температурах и низких plutонических условиях, чем первое. Указанный вывод подтверждается и геологическими и минералого-геохимическими данными.

Исключением из вышеуказанных тенденций являются относительно низкотемпературные руды с большой ролью теллуридов (Шаумян-Халадж, Зод), в которых  $Ag: Au$  ниже ожидаемого: 21:1; (1—2):1. По-видимому, указанное обстоятельство связано с особой формой переноса серебра и золота в растворах, обогащенных теллуrom, при которой эти компоненты проявляют сходные миграционные способности.

Таким образом, более определенно серебряно-золотое отношение возрастает от высокотемпературных к низкотемпературным в пределах отдельных формаций и рудных районов, хотя эти тенденции в общем с большими границами вариации со-

## Серебряно-золотое отношение в рудах и концентратах различных типов месторождений\*

Месторождение	Тип руд	Название продукции	Ag : Au
Гамзачиманское	Золото-шеелитовый (высоко-среднетемпературный)	Рядовая руда	(1—18) : 1
Шамлугское	Медноколчеданный (среднетемпературный)	"	18 : 1
Кафанское	Медноколчеданный (среднетемпературный)	"	79 : 1
Каджаранское	Медно-молибденовый (среднетемпературный)	Медный концентрат	16 : 1
Дастакертское	Медно-молибденовый (среднетемпературный)	"	33 : 1
Ахталское	Колчеданно-полиметаллический (средне-низкотемпературный)	Рядовая руда	79 : 1
Каялинское	Медно-полиметаллический (среднетемпературный)	"	12 : 1
Личкваское	Золото-сульфидный (среднетемпературный)	"	(1—20) : 1
Гюмушханское	Полиметаллический (средне-низкотемпературный)	"	200 : 1
Газминское	Полиметаллический (среднетемпературный)	"	62 : 1
Азатекское	Свинцово-сурьмяный (низкотемпературный)	"	200 : 1
Шаумян-Халаджское	Колчеданно-полиметаллический (средне-низкотемпературный)	"	21 : 1
Зодское	Золото-теллуrowый (средне-низкотемпературный)	"	(1—2) : 1

\* Составлена по данным результатов геологоразведочных и эксплуатационных работ.

храняются и при сопоставлении руд различных формаций: (высоко) — средне-температурные (Гамзачиман, Каджаран, Дастакерт, Кафан, Шамлуг, Каялу, Личквас)  $Ag:Au = (1-79):1$ , чаще всего  $(16-35):1$ ; средне-низкотемпературные (Ахтала, Гюмушхана, Газма, Азатек)  $Ag:Au = (79-200):1$  и больше. Указанные тенденции, с другой стороны, сочетаются с

тенденциями возрастания серебряно-золотого отношения от ранних более высокотемпературных минералов к поздним—низкотемпературным, а также от низких горизонтов месторождений к верхним. Последнее обстоятельство подтверждается и падением отношения  $Ag:Au$  в промышленных рудах и концентратах с течением времени (табл. 161), когда эксплуатационные работы охватывают все более глубокие горизонты месторождения\*.

Таблица 161

Изменение серебряно-золотого отношения в различных месторождениях Армянской ССР

Название месторождения	Продукция	Отношение $Ag:Au$	
		1957—1958 гг.	1962 г.
Ахталское	Медный концентрат	158:1	77:1
Шамлугское	Медная рядовая руда	22:1	9:1
Кафанское	Медный концентрат	95:1	63:1
Каджаранское	"	23:1	13:1
Дастакертское	"	57:1	27:1

В вышеприведенных особенностях вариаций отношений  $Ag:Au$  в рудах проявлены специфические особенности поведения в гидротермальных процессах этих двух родственных элементов: тенденции к накоплению в низкотемпературных продуктах у золота выражаются гораздо слабее, чем у серебра (В. О. Пароникян, 1962, 1967). Аналогичным образом вариации отношений  $Ag:Bi$ , (а также  $Ag:Te$ ) в рудах и минералах повторяют характерные черты серебряно-золотого отношения.

Рассматривая вопросы формы нахождения, следует отметить, что серебро в рудах описанных формаций присутствует в виде собственных минералов и изоморфной примеси к сульфидам и теллуридам. В рудах установлено довольно большое число минералов серебра: самородное серебро и электрум, сульфиды—аргентит (акантит), штромейерит, ялпаит; сульфоантимониты—стефанит, пираргирит, миаргирит, полибазит; сульфовисмутиты—матильдит, арамайонит; теллуриды—гессит, петцит, креннерит, сивьянит и др.

Из перечисленных минералов самородное серебро и сульфиды встречаются почти во всех рудных формациях: сульфоантимониты и сульфовисмутиты серебра более характерны

\* При этом следует отметить, что за отмеченный период содержание золота в указанных продуктах претерпевает незначительные изменения, в то время как содержание серебра имеет тенденции падения.

для полиметаллической формации Памбак-Зангезурской рудной зоны. Теллуриды серебра интенсивно развиты в золото-теллурических рудах Севано-Амасийской зоны (Зод, Меградзор), а также в колчеданно-полиметаллических рудах Шаумян-Халаджского месторождений, хотя и в остальных формациях в том или ином количестве почти всегда устанавливаются эти минералы.

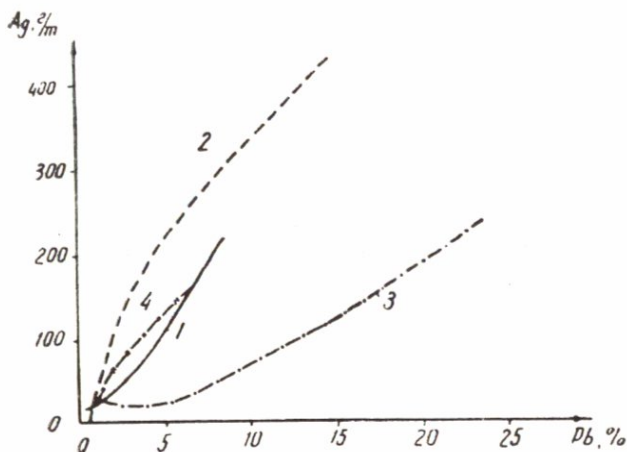
Следует подчеркнуть, что минералы серебра особенно интенсивно развиваются в поздних и относительно низкотемпературных парагенезисах, которые характеризуются довольно высокими его концентрациями. К ним относятся борнит-теннантитовые руды Алавердского рудного района, полиметаллические—Шаумян-Халаджа, руды золото-теллурических стадий на Зоде, Меградзоре и т. д. Основная масса серебра в указанных типах руд контролируется собственными минералами и в меньшей мере изоморфной формой.

Минералы рассматриваемого элемента обычно выступают как замещающие или цементирующие компоненты руд. Структурно-текстурные их соотношения с другими образованиями показывают, что они, независимо от ассоциации, принадлежат к числу наиболее поздних, близко стоящих к времени образования галенита, блеклой руды, сульфоантимонитов свинца и меди, а также теллуридов свинца и висмута. Парагенезис серебряных минералов с сульфоантимонитами свинца очень характерен и для многих месторождений мира; последние согласно экспериментальным работам (S. C. Robinson, 1948) охотно образуются в умеренно щелочных растворах.

Во многих месторождениях и формациях (медноколчеданная, медно-молибденовая, полиметаллическая, свинцовоцинковая и др.) основная масса серебра, как показывает аналитический материал, эндокриптно входит в решетки сульфидов и сульфосолей. Об этом свидетельствуют данные минералогических исследований и наличие положительных зависимостей, выявленных методом корреляционного анализа между содержаниями серебра, с одной стороны, и главными рудообразующими компонентами—с другой (рис. 74). В рудах, в которых серебряные минералы имеют значительное распространение, изменение содержания серебра почти не зависит от вариации концентраций главных компонентов (например, коэффициент корреляции для Pb—Ag в рудах Шаумян-Халаджского месторождения составляет—0,06).

Однако следует отметить, что различные сульфиды резко неравноценны как по содержанию серебра, так и в отношении его изоморфизма.

Изоморфное вхождение серебра в решетки пирита и сфалерита, очевидно, крайне ограничено, поскольку здесь речь



1 Ахтала (105)

3 Газма (42)

2 Гюмушхана (48)

4 Каялу (215)

Рис. 74. График корреляционной зависимости содержания серебра от содержаний свинца в некоторых полиметаллических месторождениях Армянской ССР. Цифры в скобках—число анализов. По В. О. Пароникяну.

идет о замещении железа и цинка серебром, резко различающихся по своим физико-химическим и кристаллохимическим свойствам\*. В указанных минералах присутствие серебра обусловлено, главным образом, микровключениями серебрясодержащих минералов, что на геохимических диаграммах выражается тесной взаимосвязью между содержаниями серебра, с одной стороны, и Pb, Sb, Bi (As)—с другой (рис. 75). Связь содержания серебра в сфалерите с микровключениями обогащенных серебром минералов отмечена В. М. Гольдшмидтом (1954), Варреном (1932), Р. В. Бойлом (1960), Л. Бауманом (1958) и др., хотя некоторые исследователи (E. Schroll, 1950)

\* Относительная разница между  $r_{Ag^{1+}}$  и  $r_{Zn^{2+}}$ , например, выше допустимого предела (составляет 26%); с другой стороны, расстояние между А—Х в решетке составляет 2,35 Å, в то время, как сумма нормальных ионных радиусов между Ag и S (при координационном числе —6) составляет 2,87 Å (В. М. Гольдшмидт, 1954). Поэтому для вхождения ионов серебра в решетку сфалерита потребуется большая поляризация ионов  $S^{2-}$  со стороны  $Ag^{1+}$  что, однако, невозможно, поскольку активная поляризационная способность  $Ag^{1+}$  в 5—6 раз меньше, чем у  $Zn^{2+}$ .

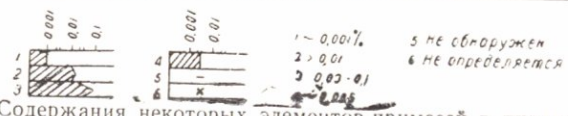
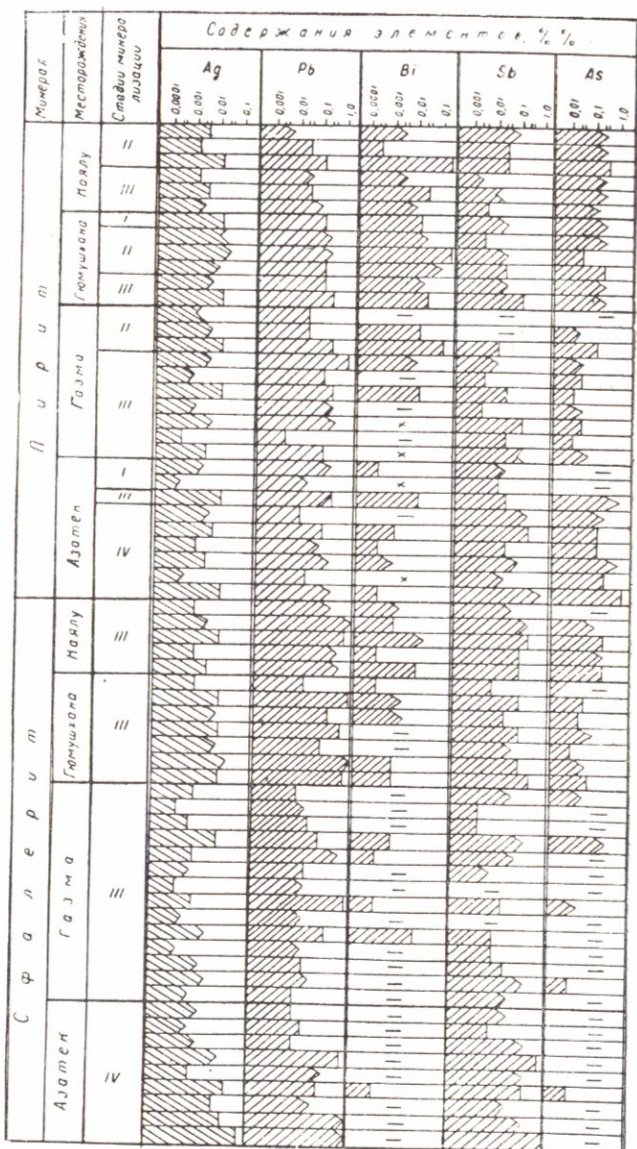


Рис. 75. Содержания некоторых элементов-примесей в пиритах и сфалеритах Айондзорского рудного района. По В. О. Пароникину.

допускают 0,03—0,05% изоморфного серебра в решетке сфалерита.

Следует, однако, отметить, что колломорфные разности указанных минералов могут содержать значительные количества серебра в виде сорбированных катионов или атомов. В этом отношении обращают на себя внимание высокие содержания серебра (до 477,0 г/т) в колломорфных пиритах Ахтальского месторождения, парагенетически тесно связанных с баритом. Отсутствие микровключений серебросодержащих сульфидов в этом пирите позволяет предполагать о поглощении ионов или атомов серебра поверхностными слоями или всей массой первоначального коллоидного осадка. Кроме того, некоторую посредническую роль при вхождении серебра в решетку сфалерита могут играть ионы двухвалентной меди (при изоморфизме сфалерит—халькопирит), однако изоморфизм между  $\text{Ag}^{1+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$  также достаточно ограничен, поэтому роль подобного изоморфизма также должна быть небольшой.

Значительное количество серебра в силу близости ряда физико-химических свойств входит в решетки соединений двухвалентного свинца и одновалентной меди—в халькозин, борнит, галенит, сульфоантимониты и сульфовисмутиты свинца и меди и особенно в блеклую руду. В составе блеклых руд концентрация серебра возрастает с увеличением содержания сурьмы и падением мышьяка\*. Как показывает фактический материал, состав блеклых руд претерпевает подобные изменения от высокотемпературных к низкотемпературным образованиям. В группе сульфоантимонитов более высокие концентрации серебра наблюдаются в менее свинцовых минералах (в последовательности геокронит—буланжерит—бурнонит). Вхождение серебра в сульфосоли облегчено еще тем обстоятельством, что оно приводит к укреплению комплексных решеток, поскольку поляризационное воздействие  $\text{Ag}^{1+}$  довольно значительное, однако не так сильно, чтобы привести к деполяризации комплексных анионов, как это имеет место при вхождении ионов цинка (А. Е. Ферсман, 1934, 1937, 1939).

Аналитический материал показывает, что в решетку халькопирита изоморфно может входить лишь ограниченное количество серебра (до 0,01%), что позволяет предположить двухвалентное состояние меди в этом соединении\*\*. Аналогич-

---

\* При этом самое высокое содержание Ag установлено в низкотемпературном тетраэдрите Азатекского месторождения (5,13%).

\*\* Исходя из свойств ионов и их энергетических особенностей, скорее следует ожидать замещение  $\text{Ag}^{1+} \rightarrow \text{Cu}^{2+}$ , чем  $2\text{Ag}^{1+} \rightarrow \text{Cu}^{2+}$ ; в частности, показатели ионного замещения, вычисленные на основании валентности,

но сфалериту и пириту более высокие концентрации серебра связаны, обычно с микроскопическими включениями серебро-содержащих минералов. Формы нахождения серебра в галенитах рассмотрены в специальной работе (В. О. Пароникян, 1967). Здесь следует отметить, что содержание серебра в галенитах возрастает от низкотемпературных к высокотемпературным, что позволяет произвести качественную оценку температуры образования руд по содержанию серебра в галените.

Таким образом, можно наметить следующий эмпирический ряд минералов, по которому возрастает предел изоморфизма серебра в кристаллических решетках: пирит—сфалерит—халькопирит—галенит—сульфоантимониты и сульфовисмутиты Pb и Cu—блеклая руда (теннантит → тетраэдрит). На одном из последних мест указанного ряда стоят также теллуриды Bi и Pb. В этом ряду правостоящие минералы являются минералами-носителями для левостоящих: при этом носители серебра в пирите и сфалерите отмечаются при содержании  $Ag > 0,001\%$ , в халькопирите  $> 0,003—0,005\%$ , в галените— $0,01—0,1\%$  и т. д.

В чисто отобранных жильных минералах руд (кварц, карбонаты, серицит, эпидот и др.) содержание серебра находится на грани чувствительности спектрального ( $1 \cdot 10^{-4}\%$ ) и пробирного ( $1 \cdot 10^{-5}\%$ ) анализов. Присутствие более высоких концентраций Ag связано с механическими включениями серебро-содержащих сульфидов и сопровождается повышенными содержаниями Pb, Cu, Sb, As, Bi и других элементов.

В заключение следует отметить, что вышеуказанные особенности распределения серебра характерны для рудных месторождений и других регионов. Тенденции к накоплению в поздних и относительно низкотемпературных продуктах гидротермальной деятельности и приуроченность серебряных минералов к поздним парагенезисам можно проследить на месторождениях Фрейберг (Л. Ваппан, 1958), Сакатекас (E. S. Bastin, 1941), Кларк-Форк (A. C. Anderson, 1946), Андреасберг (Г. Шнейдерхён, 1958), Нерчинско-Заводской группы (С. С. Смирнов, 1955; К. Ф. Кузнецов, 1959), Алмалык (С. Т. Бадалов, 1961) и др. Одновременно с этим П. Рамдор (1962) указывает на большую трудность отнесения большинства серебряных минералов (самородное серебро, аргентит, штро-

---

ионного радиуса, координационного числа и электронной конфигурации катионов (Т. Грин, 1959), одинакового порядка у  $Ag^{1+}$  (0,04) и  $Cu^{1+}$  (0,06) и различны для  $Cu^{2+}$  (0,14). Этим объясняется наличие значительных концентраций серебра в борните, халькозине и блеклой руде, в которых значительная часть меди представлена одновалентным состоянием.

мейерит и др.) к гипогенным или же гипергенным образованиям.

Согласно схеме А. Е. Ферсмана, наиболее интенсивное отложение серебра из гидротермальных растворов имеет место в температурном интервале 200—50°, а на идеализированной схеме последовательного образования рудных формаций (Г. Шнейдерхён, 1958) серебро стоит после Mo, Sn, W, Bi, Au, As, Fe, U, Zn, Cu, Pb.

Любопытно, что подобные тенденции наблюдаются и в распределении сереброносных рудных формаций по металлогеническим эпохам. При этом в отношении добычи серебра значительно возрастает роль месторождений поздних металлогенических периодов, достигая максимума в альпийской эпохе, к которой и приурочено большинство серебряных месторождений мира (И. Г. Магакьян, 1959).

Отмеченные особенности поведения серебра в эндогенных гидротермальных процессах функционально связаны с его физико-химическими свойствами. В геохимических процессах серебро фигурирует исключительно в одновалентном состоянии со значительным размером ионного радиуса, наивысшим положительным нормальным потенциалом (наряду с золотом), меньшим значением энергетического коэффициента и, как следовало ожидать, наименьшим значением теплового эффекта образования сульфидов, хлоридов и окислов. Кроме того, по упругости паров сульфидных соединений серебро стоит после Cu, Fe, Zn и Pb (K. Kordes, 1935), а растворимость сульфидов в растворах полисульфидов щелочных металлов возрастает в следующей последовательности: FeS, ZnS, PbS, Cu<sub>2</sub>S, Ag<sub>2</sub>S (F. G. Smith, 1943).

## 9. Элементы платиновой группы

Элементы группы платины Pt, Pd, Ru, Rh, Os, Ir входят в семейство переходных металлов. По величине атомного веса и принадлежности к разным периодам периодической системы их делят на две триады: легких—Ru (101,07), Rh (102,905), Pd (106,4) и тяжелых—Os (190,2), Ir (192,2) и Pt (195,09). Установлено, что особенности геохимии этих триад в процессах эндогенного рудообразования достаточно четко различаются. Если для элементов триады осмия (Os, Ir, Pt) характерно преимущественное нахождение в платиносодержащих месторождениях, генетически связанных с изверженными породами габбро-пироксенит-дунитовой формации складчатых областей, то для элементов триады рутения (Ru, Rh, Pd) более характерно нахождение в месторождениях сульфидных медно-никелевых руд, генетически связанных с формацией дифференцированных габбровых и норитовых интрузий платформенных

областей (О. Е. Юшко-Захарова и др., 1967). При этом для первых отношение Pd:Pt обычно меньше единицы, в то время как для вторых это отношение составляет 2—3 и более.

Оба указанных выше основных и промышленно важных типа концентраций (месторождений) платиновых металлов являются сингенетическими и относятся к классу магматических соответственно гистеромагматического и ликвационного типов. Для этих типов месторождений поведение и характер распределения платиновых металлов в рудах и процессах рудообразования сравнительно хорошо изучено. Значительно слабее изучены особенности поведения элементов группы платины в условиях гидротермального рудообразования. Поэтому для восполнения этого пробела ниже приводятся данные по изучению поведения элементов группы платины в рудах некоторых сульфидных гидротермальных месторождений Армянской ССР.

Платиноносность некоторых сульфидных гидротермальных месторождений Армении впервые была изучена О. Е. Звягинцевым и А. Н. Филипповым (1935<sub>1</sub>, 1935<sub>2</sub>). Ими была проанализирована большая коллекция рядовых валовых проб, рудных штуфов и мономинеральных сульфидов (табл. 162). На основании полученных данных была отвергнута практическая ценность руд в отношении платины. Кроме того, было доказано, что платина, обладая халькофильными свойствами при рудообразовании вместе с другими сопутствующими тяжелыми металлами (Cu, Fe, Pb и Zn) выносятся из магматического очага гидротермальными растворами и отлагается вместе с сульфидами.

В отношении формы нахождения платины в рудах авторами не было сделано даже предположительных заключений: отрицая возможность изоморфизма между Pb и Pt, отмечалось, что чаще и в самых высоких содержаниях платина устлавливается в свинцовых рудах и галенитах.

Позже с падением спроса на платиновые металлы вопросами платиноносности и геохимии рассматриваемых элементов в рудах гидротермальных месторождений перестали заниматься. Лишь с открытием новых областей применения платиноидов в науке и технике в начале 60-х годов и разработкой более чувствительных методов анализа снова появился интерес к изучению этих элементов в рудах гидротермальных месторождений (С. К. Калинин и др., 1963; С. Т. Бадалов, С. Ш. Терехович, 1966; О. Е. Юшко-Захарова и др., 1967 и др.).

Следует отметить, что среди платиновых металлов в последнее время особый интерес вызвал радиогенный изотоп Os<sup>187</sup>, содержание которого в ренийсодержащих рудах может быть использовано в качестве показателя при определе-

Содержания платины в различных пробах руд месторождений Армении

Месторождение, краткая характеристика пробы	Содержание* Pt, г/т
Шамлуг, медная руда	11,0
Алаверди, Cu-Zn руда, валовая средняя проба	0,5
Н. Ахтала, отвалы Pb-Zn руды	0,05
Шаумян, богатая Pb-Zn руда	5,0
Мякан, рудная жила	1,5
<b>Шамлуг</b>	
Валовая проба из шт. „Роже“ (4 пробы)	0,01
	Не обн.—0,03
Валовая Zn-руда из шт. „Роже“ 2 (пробы).	0,02
Валовая пиритовая руда из шт. „Роже“	Не обн.—0,04
	Не обн.
Средняя валовая проба (6 проб)	0,04
	0,02—0,08
<b>Н. Ахтала</b>	
Отвал, шт. 1 (2 пробы)	Не обн.
Пиритовый и цинковый отвал	0,05
Шт. Казна (2 пробы)	0,75
	0,05—0,1
<b>Алаверди</b>	
Средняя валовая проба из группы забоев	0,5
Средняя валовая проба из 15 бороздовых проб	0,05
Галенит (Шамлуг, 2 пробы)	1,5
	1,0—2,0
Сфалерит (Шамлуг)	0,4
Пирит (Шамлуг)	Не обн.
Халькопирит (Шамлуг, 3 пробы)	0,3
	Не обн.—10
Гипс (Шамлуг)	Не обн.
Кварц (Шамлуг)	Не обн.
Галенит (Шаумян)	5,0
Сфалерит (Шаумян)	1,5
Пирит (Шаумян)	0,5

\* В знаменателе указаны пределы содержаний, в числителе—среднее арифметическое.

нии абсолютного возраста руд и пород (И. Г. Магакьян, 1957)\*.

С этой целью из месторождений Каджаран и Айгедзор были отобраны и проанализированы по одной пробе молибденита с содержанием рения соответственно 0,17 и 0,135%. Но осмий в них не был установлен. По всей вероятности, из-за очень молодого (третичного) возраста молибденитов и низких содержаний рения количество радиогенного осмия в пробах было настолько мало, что чувствительность определения осмия оказалась недостаточной.

Поведение элементов группы платины в гидротермальных месторождениях Армении в последнее время изучалось А. С. Фарамазяном (1969).

Исследовались в основном руды медно-молибденовых месторождений (Каджаран, Агарак, Дастакерт, Айгедзор, Джиндара) и лишь для сравнения было изучено несколько проб из руд колчеданной формации (Кафан, Ахтала). В целях более полной характеристики изучаемых проб, наряду с платиновыми металлами, количественным спектрохимическим методом определялись содержания золота и серебра\*\*. Родий и рутений определялись во всех пробах, однако из-за низкого содержания в пробах (менее 0,001 г/т) они не были установлены ни в одной пробе руд и концентратов.

Результаты определения благородных металлов в главных рудообразующих сульфидах (табл. 163), рудных штуфах и различных концентратах (табл. 164) медно-молибденовых месторождений показали, что все они содержат примесь палладия, тогда как платина устанавливается не во всех пробах. При этом содержания и платины, и палладия во всех группах проанализированных проб колеблются в широком интервале значений, т. е. они распределены в рудах и минералах весьма неравномерно. Последнее довольно четко проявляется даже

---

\* Известно, что рений в природе представлен двумя изотопами  $\text{Re}^{165}$  (32,07%) и  $\text{Re}^{187}$  (67,93%). При этом последний является радиоактивным (S. D. Naldrett, W. F. Libby, 1948). В результате  $\beta$ -распада  $\text{Re}^{187}_{75}$  превращается в  $\text{Os}^{187}_{76}$  (Hinterberger H. etc., 1954). По наиболее надежным и последним данным период полураспада  $\text{Re}^{187}$  составляет от  $5,5 \cdot 10^{10}$  до  $6,8 \cdot 10^{10}$  лет (Herr W., Merz E., 1958).

\*\* Содержания благородных металлов (Au, Ag и платиноидов) определялись в спектроскопической лаборатории ИГН АН Каз. ССР С. Л. Терехович под руководством С. К. Калинина. Чувствительность метода составляла для Au—0,05 г/т, платиновых металлов—0,01—0,001 г/т. Средняя относительная арифметическая ошибка при трехкратном фотографировании спектра не превышала  $\pm 15\%$  (С. Л. Терехович, 1967).

## Содержание благородных металлов в мономинеральных сульфидах

Минерал	Месторождение	Содержание элементов, г/т			
		Au	Ag	Pd	Pt*
Халькопирит	Каджаран	0,5	81,0	0,019	Не обн.
Халькопирит	Агарак	1,7	36,5	0,008	"
Халькопирит	Дастакерт	—	—	0,007	"
Борнит	Дастакерт	20,0	216,0	0,15	"
Пирит	Каджаран	Не обн.	Не обн.	0,013	"
Пирит	Каджаран	"	"	0,031	"
Пирит	Агарак	"	"	0,025	"
Пирит	Агарак	Сл.	2,0	0,011	"

\* В связи с небольшой навеской взятой пробы чувствительность определения платины не превышала 0,01 г/т.

при повторных анализах одной и той же пробы. Например, 18-кратное определение платины в шести навесках молибденового концентрата (проба № 6, табл. 163) показало следующие содержания: 0,026, 0,036, 1,1, 0,036, 0,026 и 0,13 г/т.

Между содержаниями золота и серебра, с одной стороны, и платиновыми металлами, с другой — никаких зависимостей не наблюдается. Более того, зависимость между содержаниями платиноидов и полезными компонентами руд (медью, молибденом) выражена очень слабо. Об этом же свидетельствует анализ пробы отвальных хвостов Агаракского месторождения (Mo—0,007, Cu—0,04%), в котором содержание палладия составило 0,011 г/т, что мало отличается от соответствующих содержаний палладия в штуфах и медных концентратах. Такое поведение платиноидов позволяет предполагать, что они рассеяны не только (и не столько) в выделениях сульфидов, но и независимо от последних во вмещающих гидротермально измененных породах.

Однако, наряду с общими чертами, в поведении и распределении платиновых металлов в изученных пробах, молибденовые концентраты отличаются следующими, свойственными лишь им особенностями:

1. Молибденовые концентраты характеризуются наиболее высокими абсолютными содержаниями и платины и палладия, т. е. молибденит является минералом-концентратором

Содержания платины и палладия в рудах и концентратах  
медно-молибденовых месторождений

Месторождения	Содержание элементов						Отношение Pd : Pt
	Mo (%)	Cu (%)	Au (г/т)	Ag (г/т)	Pd (г/т)	Pt (г/т)	
<b>Образцы руд (штуфы)</b>							
Каджаран	10,65	9,43	сл.	30,0	0,023	не обн.	—
Каджаран	8,86	13,77	сл.	15,5	0,08	0,018	4,5 : 1
Агарак	0,034	0,87	сл.	6,8	0,025	не обн.	—
Агарак	0,029	0,62	0,6	4,4	0,06	0,015	4,0 : 1
Дастакерт	0,064	0,77	не обн.	не обн.	0,01	0,002	5,0 : 1
<b>Молибденовые концентраты</b>							
Каджаран	49,40	0,55	1,0	30,3	0,22	0,391*	0,6 : 1
Каджаран	33,50	0,15	сл.	11,0	0,03	0,05	0,6 : 1
Агарак	50,68	1,08	0,5	31,0	0,032	0,04	0,8 : 1
Агарак	45,10	3,20	сл.	7,8	0,10	0,30	0,3 : 1
Дастакерт	49,74	0,94	1,0	56,0	0,05	0,05	1,0 : 1
Айгедзор	24,00	0,21	сл.	6,0	0,005	0,012	0,4 : 1
<b>Медные концентраты</b>							
Каджаран	0,11	16,57	2,0	45,0	0,07	0,008	8,8 : 1
Каджаран	0,10	16,34	1,6	38,6	0,06	0,008	7,5 : 1
Агарак	0,40	18,00	0,9	49,8	0,05	0,02	2,5 : 1
Агарак	0,06	17,50	1,0	20,6	0,074	0,007	10,5 : 1
Агарак	0,43	18,43	1,0	47,0	0,16	0,018	8,8 : 1
Дастакерт	0,15	21,56	2,0	88,0	0,054	0,02	2,7 : 1
Дастакерт	0,13	24,64	3,0	63,0	0,05	0,01	5,0 : 1
Айгедзор	0,002	23,90	18,0	410,0	0,016	не обн.	—
Джиндара	0,003	16,60	1,3	43,6	0,009	не обн.	—

\* Среднеарифметическое по анализам шести навесок.

платиновых металлов, тогда как халькопирит является основным минералом-носителем\*.

2. В молибденовых концентратах содержание платины преобладает над палладием: отношение Pd:Pt в них колеблется от 0,3:1 до 1:1 (в среднем 0,5:1), тогда как в пробах рудных образцов и медных концентратов палладия обычно в 5—6 до 10 раз больше, чем платины.

\* В минеральном составе медно-молибденовых руд ведущая роль принадлежит халькопириту, содержание которого от 20 до 40 раз превышает молибденит. Пирит, галенит и сфалерит в количественном отношении имеют подчиненное значение.

3. В молибденовых концентратах наблюдается достаточно четкая корреляционная зависимость между содержаниями палладия и платины (коэффициент корреляции  $r = +0,93$ ).

Анализы нескольких проб концентратов, полученных из руд колчеданных месторождений (табл. 165), показали, что абсолютные содержания палладия и платины в них ниже, чем в соответствующих концентратах медно-молибденовых месторождений, хотя в общей характеристике поведения платиноидов существенных различий нет.

Таблица 165

Содержания благородных металлов в концентратах колчеданных месторождений

Наименование концентрата, содержание основных компонентов, %	Место-рождения	Содержание, г/т			
		Au	Ag	Pd	Pt
Медный (Cu—18,0)	Кафан	0,33	40,5	0,01	Не обн.
Медный (Cu—13,8, Pb—7,0, Zn—6,0)	Ахтала	8,2	344,0	0,01	"
Цинковый (Cu—2,7, Pb—2,6, Zn—35,2)	Ахтала	2,7	162,5	0,04	"
Свинцовый (Cu—6,8, Pb—51,6, Zn—12,1)	Ахтала	2,0	392,0	0,01	"

Одним из интересных вопросов геохимии платиновых металлов является форма их нахождения в рудах. В этом отношении наши представления, очевидно, могут иметь лишь предположительный характер, так как в минеральном составе руд медно-молибденовых месторождений пока минералы платиноидов неизвестны (возможно, это обусловлено и тем, что специальных поисков этих минералов не велось).

Приведенные материалы изучения поведения платиновых металлов в рудах медно-молибденовых, частично колчеданных, месторождений позволяют предполагать минеральную форму нахождения палладия и платины в рудах в виде сульфидов, арсенидов или других сложных соединений. Иначе трудно объяснить, причину их столь неравномерного распределения. Правда, содержания и палладия, и платины здесь в десятки и сотни раз ниже, чем в медно-никелевых рудах, где достоверно установлены минералы платины и палладия. Но, если учесть, что температура образования медно-молибденовых руд значительно ниже, чем медно-никелевых, то наличие самостоятельных минералов платины и палладия в гидротермальных рудах вполне допустимо, и, по-видимому, чрезвычайно мелкие (суб-

микроскопические) размеры препятствуют их обнаружению под микроскопом. Что касается особенностей распределения платины и палладия в молибденовых и медных концентратах, то это, возможно, обусловлено тем, что минералы платины с примесью палладия ассоциируют с более ранней и высокотемпературной молибденоносной стадией минерализации, а минералы палладия с примесью платины—с более поздней и сравнительно низкотемпературной медной (халькопиритовой) стадией минерализации.

\* \* \*

При электрорафинировании анодной меди, полученной из продуктов металлургического передела медных концентратов сульфидных месторождений, платиновые металлы совместно с золотом и серебром накапливаются в обезмеженные шламы\*. Поэтому для изучения соотношений всех элементов группы платины были исследованы обезмеженные шламы Алавердского медно-химического комбината, перерабатывающего медные концентраты изученных месторождений.

Результаты этих анализов приведены в табл. 166, из которой следует, что осмий и иридий в пределах чувствительности анализа не обнаруживаются, тогда как другие платиноиды образуют достаточно высокие концентрации. Соотношения Pd:Pt:Ru:Rh составляет приблизительно 45:20:2,5:1. Таким образом, для сульфидных руд Армении, по мере повышения концентрации платиноидов, в первом приближении, можно наметить следующий ряд:

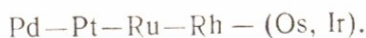


Таблица 166

Содержания платиновых металлов в обезмеженных шламах

Содержание элементов, г/т						Отношение Pd : Pt
Pd	Pt	Ru	Rh	Os	Ir	
84,3	49,7	4,0	2,5	Не обн.	Не обн.	1,7 : 1
60,2	22,0	4,0	2,0	Не обн.	Не обн.	2,7 : 1
65,7	24,0	—	0,7	—	—	2,7 : 1
62,9	20,0	—	0,5	—	—	3,1 : 1
87,1	32,0	—	2,4	—	—	2,7 : 1

\* В настоящее время обезмеженные шламы сульфидных концентратов считаются дополнительным сырьем для получения благородных металлов (Au, Ag, Pt, Pd и др.). Методы их извлечения достаточно рентабельны и в техническом отношении особых трудностей не представляют (Р. Джаффи и др., 1963).

Интересно отметить, что подобное поведение и распределение платиноидов, но с более высокими их содержаниями, характерно и для формации медно-никелевых руд.

\* \* \*

Результаты исследования поведения распределения элементов группы платины в рудах некоторых сульфидных гидротермальных месторождений Армянской ССР позволили выявить следующие закономерности:

1. Для сульфидных гидротермальных (медно-молибденовых и колчеданных) месторождений Армении характерны незначительные концентрации Pd, Pt, Ru, Rh. По мере падения содержания платиновых металлов для руд в целом намечается следующий ряд:



2. Самые высокие содержания платины и палладия приурочены к наиболее ранним и высокотемпературным молибденоносным стадиям минерализации. Эти руды характеризуются преобладанием платины над палладием ( $\text{Pd:Pt} < 1$ ). В средние (халькопиритовые) стадии минерализации вместе с падением температуры рудообразования падает и содержание платиноидов в растворах. Однако если содержание палладия падает незначительно, то содержание платины падает сильно и становится в несколько раз меньше палладия ( $\text{Pd:Pt} > 1$ ). В последующие замыкающие рудный процесс пиритовые и полиметаллические стадии минерализации концентрация палладия достигает минимальных значений, тогда как платина не устанавливается вообще. Такое поведение платины и палладия, по-видимому, обусловлено более сильными халькофильными свойствами палладия по сравнению с платиной.

3. Платиноиды в рудах и минералах-сульфидах рассеяны весьма неравномерно и, по всей вероятности, в виде самостоятельных минералов субмикроскопических размеров. При этом минералы платины с примесью палладия приурочены к молибденовым стадиям минерализации, а минералы палладия с примесью платины, в основном к рудам медных стадий минерализации. В количественном отношении основная масса платиноидов выносится гидротермальными растворами в медную (халькопиритовую) стадию минерализации.

4. При обогащении (флотации) медно-молибденовых руд небольшая часть платиновых металлов (или их минералов)

извлекается в медные и молибденовые концентраты. При этом, ввиду значительно большего выхода из руд медных концентратов по сравнению с молибденовыми, на долю первых приходится и большая часть извлеченных платиноидов. В дальнейшем, при металлургическом переделе медных концентратов, платиновые металлы совместно с золотом и серебром накапливаются в обезмеженных электролизных шлаках и представляют практический интерес.

## 10. Галлий

Галлий в промышленности и в современной технике находит самое широкое и разнообразное применение.

Ионный радиус трехвалентного галлия равен 0,62 Å. Представляет типичный рассеянный элемент с двойственными геохимическими свойствами. В магматическом процессе он выступает как литофильный элемент, тесно связанный с  $Al^{3+}$  и  $Fe^{3+}$ , а в гидротермальном процессе как типичный халькофильный элемент.

Кларк галлия в изверженных породах  $1,9 \cdot 10^{-3}$  ‰ (по Виноградову, 1962), в щелочных породах 0,0004 ‰ (Борисенко, 1956).

В формации нефелиновых и щелочных сиенитов галлий является характерным редким элементом (табл. 167, 168).

Рассмотрев табл. 167 и 168, нетрудно заметить некоторое обогащение Мегринского комплекса галлием и отчетливо выраженную тенденцию галлия накапливаться в пегматитах

Таблица 167

Распространение галлия в формации нефелиновых и щелочных сиенитов Армянской ССР

Главные типы пород	Среднее содержание, вес. %	Отношение $Ga/Al \times 100000$	Фактор концентрации по сравнению с кларком	
			в щелочных породах	в изверженных породах
<b>Тежсарский комплекс</b>				
Нефелиновые сиениты	$2,5 \cdot 10^{-3}$	1,1	0,7	1,4
Щелочные сиениты	$1,5 \cdot 10^{-3}$	0,8	0,4	0,8
Нефелиновые пегматиты	$1,0 \cdot 10^{-2}$	2,5	2,5	5,2
<b>Мегринский комплекс</b>				
Щелочные сиениты	$6 \cdot 10^{-3}$	1,2	1,5	3,1
Фельдшпатовидные пегматиты	$1 \cdot 10^{-2}$	2,5	2,5	5,2

Содержания галлия (‰) в минералах нефелинсиенитовой формации

Минералы-носители галлия	Тежсарский комплекс		Мегринский комплекс	
	нефелиновый сиенит	нефелиновый пегматит	щелочной сиенит	фельдшпатоидный пегматит
Нефелин	0,003	0,01	0,01	0,03
Содалит	0,005	0,02	0,02	0,03
Полевой шпат	0,001	0,003	0,003	0,003
Цеолиты	0,03	0,03	0,03	0,05
Корунд	0,1	0,1	—	0,3

фельдшпатоидного состава. На каждые 100 000 атомов алюминия в щелочных породах рассматриваемой формации приходится 11—12 атомов галлия, до 25 в пегматитах. С этим и связано некоторое возрастание отношения Ga:Al от щелочных пород к пегматитам, причем накопление Al в том же направлении незначительное. В пределах отдельной фации пород каждого комплекса это отношение довольно постоянное.

Кроме того, галлий постоянно в тысячных долях процента (0,001—0,003%) спектральными анализами устанавливается во всех аксессуарных и темноцветных минералах. Однако во всех случаях одноименные минералы Мегринского комплекса обогащены галлием в большей степени (2—10 раз), чем такие же Тежсарского массива.

Следует отметить, что по данным Г. П. Багдасаряна и И. Г. Магакьяна, содержание галлия в сиенитах оценивается 0,003—0,01%, а в нефелине 0,03—0,1%, что заметно превышает наши определения. В алюмосиликатах галлий ( $r_{Ga}^{3+} = 0,56 \text{ \AA}$ ) изоморфно замещает алюминий ( $r_{Al}^{3+} = 0,67 \text{ \AA}$ ), а в аксессуарах и отчасти  $Ti^3$  ( $r_{Ti}^{3+} = 0,69 \text{ \AA}$ ). Близость ионных радиусов трехвалентных ионов галлия, алюминия и железа обуславливает его накопление в последних продуктах кристаллизации щелочного расплава (нефелин, содалит, анальцит и др.), резко возрастающая на последних стадиях пегматитового процесса.

Таким образом, основной интерес представляют нефелиновые сиениты Тежсарского комплекса и особенно богатые нефелином сиениты (Ga—0,005—0,01%), а также полевошпатовые концентраты переработки глиноземистого сырья, в которых вместе с глиноземом накапливается и галлий. Несмотря на высокие концентрации галлия в пегматитах, последние промышленного значения не имеют.

В рудных месторождениях Армянской ССР галлий является постоянной примесью. Его повышенные содержания

(0,001%) устанавливаются во всех типах руд. Наиболее высокие концентрации галлия приурочены к свинцово-цинковым рудам колчеданных месторождений Алаверди-Кафанского пояса. В рядовых рудах Алавердской группы месторождений, поступающих в комбинат, галлий содержится в количестве 10 г/т, в медно-цинковых рудах это содержание достигает 30 г/т. Особенно обогащены галлием сфалериты из Ахталского и Шамлугского месторождений (0,01—0,03%). В галенитах и халькопиритах содержание галлия составляет до 0,003%. Интересно отметить, что в некоторых пробах сфалеритов из Кафанской группы месторождений галлий установлен в количестве 0,1—0,3%, а в медных концентратах—0,005%. В медных, свинцовых и цинковых концентратах Ахталы галлий установлен в количестве от 20 до 70 г/т. Для полиметаллических руд колчеданных месторождений галлий является довольно характерной примесью и как попутный компонент может представить практический интерес. Основными промышленными источниками галлия на этих месторождениях могут служить цинковые и, отчасти, свинцовые и медные концентраты.

В рудах полиметаллической формации галлий менее характерен. Содержание этого элемента в рудах полиметаллических месторождений Айоцзора и свинцово-цинковых рудах месторождений Мосес, Привольное и др. обычно колеблется в пределах 0,0005—0,001%. Сфалериты из этих месторождений характеризуются сравнительно невысокими содержаниями галлия 0,0006—0,003%, редко достигая 0,01% (Азатекское сурьмяно-полиметаллическое месторождение). В табл. 169, по данным А. Г. Акопяна, приводятся средние содержания галлия в сульфидах Айоцзорского рудного района. Галлий в этой формации руд может представить интерес лишь в отдельных месторождениях как попутный компонент при комплексной переработке руд.

В рудах медно-молибденовой и золоторудной формаций галлий является нехарактерной примесью. В сфалеритах из

Таблица 169

Средние содержания галлия в главнейших сульфидах  
Айоцзорского рудного района

Рудные поля	Среднее содержание галлия, ‰		
	сфалерит	галенит	халькопирит
Каялинское	0,0008	0,0003	0,0002
Газминское	0,0009	0,0002	0,0002
Гюмушханское	0,0006	0,0002	0,0005

этих руд (Каджаран, Зод и др.) галлий устанавливается в количестве до 0,001%. В отдельных пробах сфалерита (Анкаван), халькопирита (Агарак) и энургита (Анкаван), по данным Г. О. Пиджяна, отмечаются повышенные содержания галлия 0,003—0,01% и редко до 0,03%. По содержанию галлия сравнительно обогащены халькопириты Агарака (до 0,005%). Если учесть небольшое развитие цинковых руд на этих месторождениях и сравнительно невысокие концентрации элемента в рудах, то нетрудно убедиться, что они практического интереса не представляют.

Таким образом, в настоящее время в отношении галлия практический интерес могут представить нефелиновые сиениты и полевошпатовые концентраты Тежсара и полиметаллические руды колчеданной формации.

## 11. Ниобий и тантал

Эти элементы обладают целым рядом ценных физико-химических свойств, что увеличивает перспективы их использования и спрос в современной технике.

Кларк в изверженных породах составляет  $Nb—2 \cdot 10^{-3}$ ,  $Ta—2,5 \cdot 10^{-40}/_0$  (по А. П. Виноградову, 1962), а в щелочных породах  $Nb \sim 0,005\%$  (по Гольдшмидту).

Близость химических свойств  $Nb$  и  $Ta$  обуславливает их геохимическое родство, а поведение в магматическом процессе определяется близостью ионных радиусов ниобия и тантала, особенно с  $TR$ ,  $Ti$ ,  $Zr$ .

Величины ионных радиусов  $Nb^{5+}$  и  $Ta^{5+}$  одинаковы—0,66 Å.

В формации нефелиновых и щелочных сиенитов ниобий является довольно распространенной, а тантал—не характерной примесью в щелочных породах и пегматитах (табл. 170). Содержание тантала, по результатам одного химанализа, равно 0,0003%, что близко к кларку.

Рассмотрев распространение ниобия в формации, можно заметить, что, во-первых, щелочные породы Мегринского комплекса примерно в шесть раз обогащены ниобием, чем породы Тежсарского, во-вторых, по сравнению как с кларком в щелочных, так и с кларком в изверженных породах тежсарские нефелиновые сиениты обеднены ниобием, а мегринские обогащены.

Максимальные концентрации ниобия отмечаются в мусковитизированных породах и пегматитах Тежсарского комплекса и пегматитах Мегринского. Именно в этих породах, где кларк концентрации составляет 10—20, появляется значительное количество титано-тантало-ниобатов: пирохлор, лопарит,

Содержания ниобия в породах нефелин-сиенитовой формации  
Армянской ССР

Главные типы пород комплексов	Среднее содержание, вес. %	Фактор концентрации по сравнению с кларком	
		щелочные породы	изверженные породы
<b>Тежсарский комплекс</b>			
Нефелиновый сиенит	0,0015	0,3	0,75
Псевдолейцитовый сиенит	0,001	0,2	0,50
Щелочной пегматит	0,020	4,0	10,0
Мусковитизированный сиенит	0,100	20,0	50,0
<b>Мегринский комплекс</b>			
Щелочный сиенит	0,01	2	5,0
Калиевый пегматит	0,06	12	30,0
Натриевый пегматит	0,10	20	50,0

гаттчетолит, эшинит, бетафит, ильменорутил, лопарит, веле-рит, фергусонит, эксенит, виикит.

Важное значение, в смысле решения вопроса комплексного извлечения ниобия и тантала, имеет фактор распределения ниобия и тантала по минералам щелочных и нефелиновых сиенитов (табл. 171).

Приведенные приближенные подсчеты показывают, что главная масса Nb и Ta связана в аксессуарном сфене (60—75%). В Тежсарском массиве, кроме того, связана в меланите (10%), титано-тантало-ниобатах (15%), а также в цирконе и бадделеите (10%). Весьма незначительная доля приходится на ильменит, анатаз, рутил, биотит (5—10%).

В этой связи значительный интерес могут представить участки нефелиновых сиенитов, обогащенные сфеном (2—5%) и меланитом (5—10%), установленные в Тежсарском комплексе.

В обоих комплексах заметна связь повышенного содержания титано-ниобатов в метасоматически альбитизированных и мусковитизированных разностях сиенитов. Кроме того, интересны пегматиты, особенно Мегринского комплекса, содержащие значительное число и заметное количество тантало-ниобатов.

Рассмотрев геохимические особенности Nb и Ta в нефелин-сиенитовой формации Армянской ССР, следует подчеркнуть весьма высокое отношение Nb:Ta, фиксирующееся в незначительных концентрациях Ta в породах и минералах. С

## Распределение ниобия и тантала по минералам нефелиновых сиенитов

Минералы	Тежсарский комплекс				Мегринский комплекс			
	Содержание минерала, г/г	Содержание, вес. %		Баланс в породе, %	Содержание минерала, г/г	Содержание, %		Баланс в породе, %
		Nb	Ta			Nb	Ta	
Сфен	8200	0,40	0,03	60	7500	0,3	0,03	75
Циркон	260	0,30	0,01	10	2100	0,01	—	5
Бадделейт	90	0,05	—	10	40	0,03	—	
Меланит	8000	0,10	—		10	—	—	—
Велерит	40	15,0	0,03	15	—	—	—	
Пироклор	6	40,0	1,0					
Лопарит	4	10,0	0,01	5	8000	0,01	0,001	
Бетафит	—	—	—					
Анализ	5	0,30	0,1	—	150	1,0	0,03	5
Ильменит	150	0,03	—	5	500	0,2	—	10
Биотит	10000	0,003	—		8000	0,01	0,001	

\* Для сфена, циркона и меланита по данным химических анализов; для велерита, пироклора, бетафита, лопарита приняты средние теоретические содержания, а для остальных минералов по данным спектральных анализов.

другой стороны, заметна тесная связь Nb и Ta с главной массой щелочей; этим, в частности, объясняется обогащение этими элементами альбитизированных и мусковитизированных разновидностей сиенитов. Кроме того, как было установлено в Мегринском комплексе, судьбы Nb и Ta расходятся в ходе дифференциации. Тантал уже на ранних стадиях накапливается в калиевых мусковитах—микроклиновых и безнефелиновых пегматитах, а ниобий преимущественно в натриевых фельдшпатовых пегматитах.

Главная масса ниобия и тантала, как указывалось, концентрируется в сфене, изоморфным замещением  $\text{Ca}^{2+} + \text{Ti}^{4+} \rightarrow \text{Nb}^{5+} + \text{Na}^{1+}$  и частью в биотите (по схеме  $\text{Mg}^{2+} + \text{Ti}^{4+} \rightarrow \text{Nb}^{5+} + \text{Li}^{1+}$ ) в цирконе, бадделейте ( $\text{Zr}^{4+} \rightarrow \text{Nb}^{5+}$ ) и других титан- и цирконийсодержащих минералах и лишь на поздних стадиях формирования щелочной магмы в условиях недостатка титана, повышенном содержании Th, U, TR и малой подвижности ниобия могут образовываться сложные редкоземельно-радиоактивные танталониобаты. Эта тенденция проявляется и в том, что в сфеновых, меланитовых разновидностях щелочных и нефелиновых сиенитов и пегматитов танталониобаты отсутствуют.

## 12. Бериллий

Бериллий весьма важный редкий элемент, сравнительно недавно нашедший применение в атомной, ракетной и других отраслях современной техники.

Благодаря небольшому удельному весу ( $1,835 \text{ г/см}^3$ ) и малой величине ионного радиуса ( $r_{\text{Be}^{2+}} = 0,34 \text{ \AA}$ ) главная масса атомов бериллия рассеяна в виде изоморфной примеси в породообразующих минералах горных пород.

Кларк бериллия в земной коре  $3,8 \cdot 10^{-4} \%$  (по А. П. Виноградову, 1962), а в щелочных породах  $7 \cdot 10^{-4}$  (по А. А. Беусу, 1958).

Главные промышленные концентрации бериллия связаны с пневмато-гидротермальными процессами и приурочены к гранитным пегматитам, скарнам, грейzenам и бериллиеносным гранитам.

В нефелинсиенитовой формации Армянской ССР бериллий является постоянной и довольно характерной примесью в щелочных породах и пегматитах (табл. 172).

Таблица 172

Содержание бериллия в породах нефелинсиенитовой формации Армянской ССР

Главные типы пород	Среднее содержание, ‰	Фактор концентрации по сравнению с кларком	
		в щелочных породах	в изверженных породах
<b>Тежсарский комплекс</b>			
Нефелиновый сиенит	$5 \cdot 10^{-4}$	0,7	1,3
Щелочной сиенит	$3 \cdot 10^{-4}$	0,4	1,0
Нефелиновый пегматит и аплит	$8 \cdot 10^{-4}$	1,3	2,3
Флюоритовая брекчия	$16 \cdot 10^{-4}$	2,3	4,0
<b>Мегринский комплекс</b>			
Щелочной сиенит	$1 \cdot 10^{-3}$	1,4	2,6
Натриевый пегматит	$1 \cdot 10^{-2}$	14,0	26,0
Калиевый пегматит	$5 \cdot 10^{-3}$	7,0	13,0

Рассмотрев распределение бериллия по главным типам пород, можно заключить, что щелочные породы Мегринского комплекса вдвое больше обогащены этим элементом, чем породы Тежсарского. В мегринских щелочных породах концентра-

ция бериллия в 1,5 раза больше кларка в щелочных породах, в пегматитах—7—14 раз, а в породах Тежсарского комплекса ниже кларка. Несколько обогащены лишь пегматиты и зоны флюоритовых брекчий. По сравнению с кларком в земной коре щелочные породы заметно (в 2—3 раза) обогащены бериллием. Содержания бериллия в одноименных минералах из щелочных пород Мегринского и Тежсарского комплекса различны: алюмосиликаты мегринских щелочных пород более чем в 2—3 раза обогащены бериллием, по сравнению с алюмосиликатами тежсарских пород (табл. 173).

Таблица 173

Содержание бериллия в главных минералах-носителях пород, %

Минералы	Мегри	Тежсар
Нефелин	0,003—0,01	0,0008
Калишпат	0,0003—0,001	0,0003
Плагиоклаз	0,0003	0,00002
Биотит	0,003	0,001

Из других второстепенных минералов бериллий накапливается в амфиболе (0,001—0,003%), ортите (0,003%), сфене, цирконе, турмалине, меланите (0,001—0,003%), флюорите (0,03—0,1%) и корунде—0,01%.

В минералах бериллий находится в виде изоморфной примеси и замещает кремний, алюминий и кальций. А. А. Беус (1958), намечает три типа гетеровалентных замещений в алюмосиликатах:

1.  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  и  $[\text{AlO}_4]^{5-} \rightarrow [\text{BeO}_4]^{6-}$  с компенсацией TR, Ti, Zr.
2.  $\text{Si}^{4+}$  или  $\text{Al}^{3+} \rightarrow \text{Be}^{2+}$  с компенсацией части кислорода на фтор.
3.  $3\text{Si}^{4+} \leftarrow 2\text{P}^{5+} + \text{Be}^{2+}$  в фосфатах и фторидах.

А. А. Беус отмечает определенную тенденцию бериллия накапливаться в остаточных расплавах, обогащенных фтором, являющимся своеобразным экстрактором бериллия.

В зоне кристаллизации щелочной магмы поведение бериллия тесно связано с деятельностью фторсодержащих эманаций, что приводит к обогащению поздних дифференциатов и пневмато-гидротермальных образований. С этим связаны повышенные концентрации бериллия в флюоритовых брекчиях Тежсарского комплекса (0,0016%) и в пегматитах Мегрин-

ского комплекса (0,01—0,005%). В последних это ведет к появлению хризоберилла, гадолинита. С этой точки, зрения наиболее перспективны зоны флюоритизации в нефелиновых сиенитах, флюоритовые брекчированные зоны, флюорит-нефелиновые пегматиты. Кроме того, в Мегринском плутоне интерес могут представить нювадинские скарны (0,001% Be), ванские турмалиновые грейзены (0,001% Be), и дополнительные интрузии аляскитов в пределах интрузии порфиroidных гранитов (0,001—0,003%), содержащие, по-видимому, берилл (?). По данным И. Г. Магакьяна (1961) пегматиты и скарны (Гехи и Астазур) содержат до 0,1% Be.

### 13. Цирконий и гафний

Широко применяются в атомной и ракетной технике и электронике.

Сходство строения внешних электронных оболочек обуславливает исключительную близость физико-химических свойств циркония и гафния. Размеры ионных радиусов одинаковые—0,82 А. Этим обусловлена их неразрывная связь при геохимических процессах и совместное нахождение в природе. Гафний не образует самостоятельных минералов и присутствует в виде изоморфной примеси в циркониевых минералах. Кларк в изверженных породах: Zr— $1,7 \cdot 10^{-2}$ , Hf— $1 \cdot 10^{-4}$  в щелочных Zr— $6,8 \cdot 10^{-2}$ , Hf— $8 \cdot 10^{-5}$ .

В формации нефелиновых и щелочных сиенитов Армянской ССР цирконий и гафний являются характерными редкими элементами и присутствуют в повышенных содержаниях (табл. 174).

Рассматривая приведенную таблицу, необходимо подчеркнуть, что при почти одинаковом содержании циркония и гафния в породах Тежсарского и Мегринского комплексов поздние дифференциаты Мегринского комплекса и особенно калиевые пегматиты резко обогащены как цирконием, так и гафнием. В отдельных телах содержание циркона достигает 2%, а гафния в цирконах—2,55%. Далее отношение Zr:Hf в мегринских щелочных породах и пегматитах заметно ниже, что свидетельствует об их обогащенности гафнием. Из сравнения с кларками примечательным является то обстоятельство, что по сравнению с щелочным кларком нефелиновые сиениты формации обеднены цирконом, но обогащены гафнием, а пегматиты—и цирконием, и гафнием.

Однако концентрации циркония и гафния по сравнению с кларком в изверженных породах всегда выше. Так, для циркония фактор концентрации достигает 1,5—3,5 в породах и 7—

Содержания циркония и гафния в породах нефелисиенитовой формации  
Армянской ССР

Главные типы пород	Содержание, ‰		Отношение Zr: Hf	Фактор концентрации по сравнению с кларком			
	Zr	Hf		щелочные породы		изверженные породы	
				Zr	Hf	Zr	Hf
<b>Тежсарский комплекс</b>							
Нефелиновый сиенит	0,025	0,00025	100	0,40	3,0	1,5	2,5
Посевдолейцитовый сиенит	0,060	—	—	1,00	—	3,5	—
Щелочной сиенит	0,010	0,0002	50	0,20	2,5	0,6	2,5
Щелочной пегматит	0,120	0,0004	—	1,80	5,0	7,0	4,0
<b>Мегринский комплекс</b>							
Щелочной сиенит	0,025	0,00029	86	0,40	3,5	1,5	2,9
Калиевый пегматит	0,20	0,0050	40	2,80	60,0	12,0	500
Натриевый пегматит	0,40	0,0005	80	5,80	6,0	24,0	5,0

24 в пегматитах, а для гафния 2,5—3 в породах и 4—50 в пегматитах.

Распределение циркония и гафния в породах различных комплексов различное, что связано с различной активностью щелочей при их формировании, ведущее к появлению различных циркониевых минералов.

Как видно из табл. 175, в которой приведены содержания  $ZrO_2$  и  $HfO_2$  в цирконийсодержащих минералах и баланс распределения их в щелочных породах Тежсарского и Мегринского комплексов, главная масса циркония и гафния (~85%) в мегринских щелочных сиенитах приходится на циркон, а в тежсарском комплексе распределяется между цирконом (~55% циркония и 90% гафния нефелиновых сиенитов) и редкими аксессуарами: бадделентом (15%), велеритом (10%) и меланитом (20%). Наиболее обогащенным гафнием минералом является циртолит-малакон (1—2,5%  $HfO_2$ ), более распространенный в Мегринском комплексе и особенно в калиевых пегматитах. В одноименных циркониевых минералах отношение Zr:Hf всегда ниже в Мегринском комплексе, а содержание  $HfO_2$  всегда выше, чем в Тежсаре. Кроме того, цирконий и гафний отмечаются в сотых долях процента в сфенах (0,1% Zr, 0,01% Hf), титаниобатах (0,03% Zr, 0,03% Hf) и

Распределение циркония и гафния в щелочных породах

Цирконий-содержащие минералы	Тежсарский комплекс					Мегринский комплекс				
	Содержание, %		Отношение Zr:Hf	Баланс, %		Содержание, %		Отношение Zr:Hf	Баланс, %	
	ZrO <sub>2</sub>	HfO <sub>2</sub>		ZrO <sub>2</sub>	HfO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	HfO <sub>2</sub>		ZrO <sub>2</sub>	HfO <sub>2</sub>
Циркон, розовый	45,0	0,45	100	30		41,5	0,49	86	79	85
Циркон, серо-зеленый	48,0	0,67	72	20	90	66,3	0,80	83	5,0	
Циртолит-малакон	50,0	1,0	50	5		63,0	2,55	25	10	15,0
Бадделейт	74,0	0,5	150	15	5	73,9	1,0	74	5,0	—
Велерит	150	0,1	150	10		—	—	—	—	—
Меланит	0,25	0,005	50	20	5	0,50	0,01	50	1,0	—

др. Высокое значение отношения Zr:Hf в щелочных породах нефелинситеновой формации связано с резко повышенными условиями щелочности кристаллизующейся магмы, при которой подвижность циркония выше, чем гафния. С этим связано резкое обогащение цирконом и бадделейтом участков метасоматически альбитизированных, сложнзамещенных дифференцированных пегматитов и альбититов.

Из всех пород щелочного состава наиболее перспективными являются нефелиновые ситениты, при переработке которых можно получить циркон-бадделейтовый концентрат с содержанием 300—350 г/т от массы породы и меланитовый концентрат 8000—12000 г/т с содержанием 0,25% ZrO<sub>2</sub>.

#### 14. Редкие земли, торий и иттрий

Эти элементы имеют широкое применение в различных отраслях техники: атомной энергетике и аппаратуре, как легирующие и жаростойкие—коррозиоустойчивые материалы.

Редкоземельные элементы применяются в виде комплекса всех 15 элементов и в виде индивидуальных элементов (как и торий) и их соединений.

Группу редкоземельных элементов делят на две подгруппы: цериевую (La, Ce, Pr, Nd, Sm) и иттриевую (Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu). Характерной для редких земель является близость физико-химических свойств и особенно ионных радиусов. От лантана до лютеция разница достигает

0,23 Å (La<sup>3+</sup> — 1,22 Å, Lu<sup>3+</sup> — 0,99 Å. У тория — 1,10 Å, иттрия — 1,06 Å).

Кларки TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в изверженных породах, по А. П. Виноградову, составляют 0,015%, иттрия — 2,9 · 10<sup>-3</sup>, тория — 1,3 · 10<sup>-3</sup>%. Кларки отдельных лантанидов, по А. П. Виноградову, приводятся ниже в таблице; отметим, что у La, Ce, Pr, Nd — 3—7 · 10<sup>-3</sup>%, у Dy, Ho, Er, Sm, Eu, Gd, Tb — 1,5—8 · 10<sup>-4</sup>, а у Tu, Lu, Yb — 3,8 · 10<sup>-5</sup>.

По своим геохимическим особенностям TR, Th, Y имеют много общего (все они имеют валентность, равную трем, и близкие ионные радиусы), что выражается в общности их истории в геохимических процессах. В магматическом процессе они проявляют тенденцию накапливаться в остаточных расплавах совместно с щелочами и летучими, частично рассеиваясь в ранних кальциевых акцессориях, частично образуя самостоятельные минералы.

Для нефелинсиенитовой щелочной формации Армянской ССР редкоземельные элементы и торий являются характерными и самыми распространенными элементами (табл. 176).

Таблица 176

Распределение TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и ThO<sub>2</sub> в породах нефелинсиенитовой формации Армянской ССР

Главные типы пород	Содержание, %			Фактор концентрации		
	TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ThO <sub>2</sub>	TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ThO <sub>2</sub>
<b>Тежсарский комплекс</b>						
Нефелиновые сиениты	0,06	0,002	0,003	4,0	0,7	2,3
Псевдолейцитовые сиениты	0,07	0,003	0,003	4,5	1,0	2,3
Щелочные пегматиты	0,12	0,010	0,009	8,0	3,5	7,0
Флюоритовые брекчии	0,21	0,030	0,16	14,0	10,0	12,5
<b>Мегринский комплекс</b>						
Щелочные сиениты	0,091	0,003	0,0025	6,0	1,0	1,9
Калиевые пегматиты	0,15	0,030	0,003	10,0	10,0	2,3
Натриевые пегматиты	0,25	0,010	0,005	17,0	8,5	4,0

Расчеты показывают, что щелочные породы нефелинсиенитовой формации по сравнению с кларками в изверженных породах заметно обогащены редкими землями (в 4—6 раз), торием (2—2,3 раза). Иттрий не превышает кларковые содержания. Вместе с тем следует отметить, что щелочные и нефелиновые сиениты Армянской ССР, по сравнению с щелочными комплексами других регионов, несколько обеднены редки-

ми землями. Так, для Ловозерского массива приводятся цифры 0,2%  $\Sigma \text{TR}_2\text{O}_3$ , Вишневые горы—0,12% (Еськова, Бородин, 1959). По сравнению с породами, пегматиты обогащены редкими землями, торием и иттрием примерно в 3—5 раз. Кроме того, в Тежсарском комплексе известны проявления гидротермального генезиса (фторкарбонатная формация), представленные зонами брекчированных измененных пород цементированных флюоритом и биотитом с примесью фторкарбонатов редких земель.

Как показывают рентгеноспектральные анализы осадков из щелочных пород Армении, роль отдельных лантаноидов в общем балансе неодинаковая (табл. 177, 178). Главная масса ее приходится на цериевые редкие земли. Так, на Ce (44—45% от  $\Sigma \text{TR}_2\text{O}_3$ ), La (19—23%), Pr (5—6,5%), Nd (20—22%), Sm (2,0—3,6%). На остальные редкоземельные элементы иттриевой подгруппы приходится лишь 2—3%.

Таблица 177

Содержания редких земель в  $\Sigma \text{TR}$  пород нефелинсиенитовой формации Армянской ССР

Комплексы	Содержание, % $\Sigma \text{TR}_2\text{O}_3$	Содержание редких земель в $\Sigma \text{TR}$ , принятое за 100%													
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Th	Yb	Lu
Тежсарский	0,06	23,3	45,0	5,6	20,1	2,1	0,3	1,3	0,2	0,6	0,2	0,3	0,1	0,2	0,1
Мегринский	0,091	19,0	44,0	6,5	22,0	3,6	0,6	2,3	0,2	1,0	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2

Однако вычисленные средние весовые содержания отдельных лантаноидов (табл. 178) для Мегринского и Тежсарского комплексов и их сравнение с кларками в изверженных породах, по А. П. Виноградову, указывает на определенные закономерности их распределения. Во-первых, отмечается довольно отчетливое обогащение, примерно в 1,5—2 раза, всеми лантаноидами в нефелиновых сиенитах Мегринского комплекса по сравнению с Тежсарским. Во-вторых, для формации щелочных и нефелиновых сиенитов более характерны редкоземельные элементы подгруппы церия (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu), чем иттрия, некоторые из которых содержатся в нижекларковых содержаниях (Tb, Dy, Ho, Lu). В-третьих, для всей формации характерен довольно монотонный характер распределения редкоземельных элементов.

Распределение редких земель, иттрия и тория по минералам щелочных и нефелиновых сиенитов Тежсарского и Мегринского комплексов показано в табл. 179. Из результатов анализов видно, что сфены, флюориты, цирконы Тежсарского ком-

Средние содержания и кларки концентрации редкоземельных элементов в породах нефелинсиенитовой формации

Элементы	Средние содержания, ‰		Кларки по А. П. Виноградову (1962)	Фактор концентрации	
	Тежсар	Мегри		Тежсар	Мегри
Лантан	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$	5,0	6,0
Церий	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$7,0 \cdot 10^{-3}$	3,9	5,7
Празеодим	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$5,9 \cdot 10^{-3}$	$9,0 \cdot 10^{-4}$	3,7	6,6
Неодим	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$	3,2	5,4
Самарий	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$	1,7	4,1
Европий	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$5,5 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	1,4	4,2
Гадолиний	$7,8 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$	0,9	2,5
Тербий	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	0,3	0,4
Диспрозий	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$9,1 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	0,7	1,8
Гольмий	$6,0 \cdot 10^{-5}$	$9,1 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	0,4	0,5
Эрбий	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	0,4	0,5
Тулий	$6,0 \cdot 10^{-5}$	$9,0 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$	2,2	3,3
Иттербий	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$	3,6	5,2
Лютеций	$6,0 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$	0,7	2,2

плекса более обогащены редкими землями и обеднены иттрием и торием, чем одноименные минералы Мегринского комплекса. В то же время апатит обеднен редкими землями и обогащен иттрием и торием. Далее нужно отметить, что в Мегринском комплексе собственно редкоземельные минералы с Y и Th (ортит, монацит, торит и др.) пользуются большей распространенностью, чем в Тежсарском комплексе. Значительно возрастает в Тежсарском комплексе роль велерита, пирохлора и лопарита, отсутствующих в Мегринском массиве. Параллельно с возрастанием и накоплением редкоземельных элементов, иттрия и тория в пегматитах, особенно в альбитизированных и мусковитизированных разностях, появляется целый ряд редких минералов — ксенотим, иттриалит, церит, роуландит, лантанит, редкоземельные тантало-ниобаты (Мегри) и ринколит, велерит, пирохлор, лопарит, торит, эвксенит, бритолит (Тежсар).

Для решения вопроса извлечения редкоземельных элементов и тория из продуктов переработки нефелиновых сиенитов решающее значение имеет баланс этих элементов по минералам пород. Выполненные приближенные подсчеты представлены в табл. 179, откуда нетрудно заметить, что главная масса TR, Y и Th сконцентрирована в сфене (40—60%). Остальная часть этих элементов в обоих комплексах распределяется по-разному.

В балансе редкоземельных элементов, иттрия и тория значительную роль в Тежсаре играют меланит, флюорит, циркон и бадделейт, а в Мегри—апатит, ортит и монацит.

Редкие танталониобаты, породообразующие минералы и прочие аксессуарии (рутил, анатаз, магнетит, ильменит и др.) играют весьма незначительную роль: на их долю приходится от 2 до 5% редких элементов щелочных пород.

Характер распределения отдельных редкоземельных элементов по TR-содержащим минералам для Тежсарского и Мегринского комплексов несколько различаются (табл. 179), несмотря на довольно монотонный процентный состав (от  $\Sigma TR_2O_3$ ) отдельных лантаноидов в сфенах, апатитах, цирконах, флюоритах, меланитах и ортитах, что связано с различной концентрацией в них суммы редких земель.

Из табл. 180 следует, что сфены, цирконы Тежсарского комплекса почти вдвое обогащены как иттриевыми, так и цериевыми редкими землями и, наоборот, апатиты почти на столько же обеднены ими. Сфены и апатиты характеризуются присутствием двух пиков цериевого и неодимового, а цирконы и меланиты—наоборот, их максимумы смещаются в сторону иттриевых редких земель (особенно характерны эрбиевый и иттербиевый максимумы). Как флюориты, так и ортиты имеют резко выраженные цериевые и неодимовые максимумы.

Говоря о концентрациях TR, Th и Y в аксессуарных минералах, следует остановиться на формах их нахождения. Общеизвестна высокая изоморфная емкость в отношении TR, Th, Y кальциевых аксессуариев, обусловленная близостью ионных радиусов  $Ca^{2+} - 1,06 \text{ \AA}$ ,  $Th^{4+} - 1,1 \text{ \AA}$ ,  $Y^{3+} - 0,97 \text{ \AA}$ ,  $Ce^{3+} - 1,22 \text{ \AA}$  и  $Zr^{4+} - 0,87 \text{ \AA}$ . Гетеровалентный изоморфизм между указанными элементами носит «цепочечный» характер (Семенов, 1959), заключающийся в том, что вхождение в структуру кальциевых минералов (сфен, апатит, флюорит, меланит) вместо  $Ca^{2+}$  таких элементов, как  $Ce^{3+}$  и  $Y^{3+}$  приводит к последовательному вхождению  $Th^{4+}$ ,  $U^{4+}$  и редких земель от  $La^{3+} - 1,22 \text{ \AA}$  до  $Lu^{3+} - 0,99 \text{ \AA}$ .

Как видно из обзора геохимии редких земель щелочно-нефелиновой формации, отмечается разделение лантаноидов в различных комплексах (в породах и пегматитах) и слагающих их минералах, обусловленное различием режима щелочности при формировании Мегринского и Тежсарского комплексов, различной обогащенностью редкими землями и известью, ходом кристаллизации и интенсивностью эманационно-магматической дифференциации.

Тесная геохимическая связь Th, TR и Y в магматической дифференциации с щелочами и летучими, установленная в

Распределение редких земель, тория и иттрия в минералах нефелинсиенитовой формации\*

Минералы-носители	Тежсарский комплекс							Мегринский комплекс						
	Содержание минерала, г/г	Содержание, ‰			Баланс, ‰			Содержание минерала, г/г	Содержание, ‰			Баланс, ‰		
		$\Sigma TR_2O_3$	$Y_2O_3$	$ThO_2$	TR	Y	Th		$\Sigma TR_2O_3$	$Y_2O_3$	$ThO_2$	TR	Y	Th
Сфен	8200	3,12	0,4	0,016	45	50	40	7,500	1,65	2,5	0,18	30	60	35
Апатит	4500	1,21	0,3	0,01	10	15	15	6,400	2,40	0,1	0,06	25	5	10
Меланит	8060	0,43	0,1	0,022	10	5	10	—	—	—	—	—	—	—
Флюорит	1900	1,50	0,03	0,01	5	2	1	1500	0,1	1,0	0,3	1	10	2
Циркон	260	0,60	0,3	0,4	5	5	10	2100	0,3	1,0	0,07	1	15	10
Монацит	60	62,0	1,0	3,0	7,5	10	15	500	62,5	2,5	5,26	28	2	15
Ортит	30	23,0	0,1	0,2	2,5	3	2	100	21,0	0,16	1,28	5	1	13
Танталониобаты	50	10,0	5,0	3,0	5	2	1	10	10	10	5,0	3	2	5
Породообразующие	—	0,003	0,001	0,001	5	5	5	—	0,01	0,001	0,001	5	5	5
Прочие аксессуарии	—	—	—	—	5	3	1	—	—	—	—	2	—	5

По данным химических анализов (сфен, апатит, флюорит, циркон, отчасти ортит, монацит) и спектральных определений (породообразующие, танталониобаты, флюорит).

Распределение редкоземельных элементов в TR-содержащих акцессорных минералах\*

Минералы-носители редких земель	Содержание TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , вес. %	Содержание редких земель в % от ΣTR <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , принятой за 100%													
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Lu
<b>Тежсарский комплекс</b>															
Сфен	3,12	16,5	44,5	7,8	22,4	3,4	0,3	2,4	0,2	1,2	0,1	0,5	—	0,4	—
Циркон	0,60	14,0	36,0	4,6	13,0	2,4	0,5	2,5	0,4	3,6	1,5	8,5	2,0	10,2	0,8
Апатит	1,21	23,0	46,0	6,4	21,5	1,3	0,3	1,0	0,2	0,4	—	—	—	—	—
Меланит	0,43	11,7	29,8	5,9	15,4	6,1	1,1	5,9	1,0	7,8	1,3	6,7	0,5	5,9	0,8
Флюорит	1,50	27,6	39,0	4,9	21,6	2,8	0,4	1,8	0,2	1,0	0,1	0,4	—	—	—
<b>Мегринский комплекс</b>															
Сфен	1,65	19,0	43,0	6,1	23,0	3,4	0,3	0,9	0,15	0,9	0,2	0,3	—	0,2	—
Циркон	0,30	18,0	45,0	3,4	9,0	1,5	0,1	1,5	0,2	2,3	0,5	5,0	1,0	11,0	1,9
Апатит	2,40	25,0	44,0	4,4	23,0	1,8	0,2	1,1	0,2	0,5	—	—	—	—	—
Ортит	21,0	32,0	58,0	3,4	6,5	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—

\* По данным рентгеноспектральных анализов лаборатории ИМГРЭ (Р. А Баринский).

Тежсарском и Мегринском комплексах, позволяет высказать некоторые соображения о перспективах их концентраций.

Наибольший интерес представляют участки альбитизации в щелочных и нефелиновых сиенитах, а также пегматиты и проявления фторкарбонатной формации. Кроме того, целесообразным представляется попутное извлечение рассматриваемых элементов из тяжелых хвостов переработки нефелиновых сиенитов при получении глинозема.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщение большого фактического материала, представляющего результат многолетних систематических исследований по характеру распределения редких и благородных элементов в рудных формациях Армянской ССР, позволяет сделать следующие главные выводы:

1. Закономерности развития отдельных этапов структуры, магматизма и металлогении во времени и в пространстве привели к образованию на территории Армении трех структурно-металлогенических поясов (Алаверди-Кафанский, Памбак-Зангезурский и Севано-Амасийский) с характерным оруденением, которые должны лечь в основу при прогнозировании и направлении поисково-разведочных работ как на главные металлы: медь, молибден, золото, железо, алюминий, хром, свинец, цинк и др., так и на редкие и благородные.

2. В Алаверди-Кафанском структурно-металлогеническом поясе преобладает и имеет промышленное значение колчеданная формация руд (месторождения Кафан, Шамлуг, Ахтала, Шаумян-Халадж и др.). Определенные перспективы имеет железорудная формация (Шакери-дош, Мисхана и др.), которая пока слабо изучена. Кроме того, известны также многочисленные небольшие месторождения и рудопроявления меди, свинца и цинка, барита, марганца и молибдена. Из редких и благородных элементов для различных типов руд наиболее характерны селен, теллур, индий, кадмий, висмут, золото и серебро при небольшой роли галлия, таллия и рения.

3. В Памбак-Зангезурском структурно-металлогеническом поясе преобладает и имеет важное промышленное значение медно-молибденовая формация руд (месторождения Каджаран, Агарак, Дастакерт, Анкаван и др.) с подчиненной ролью полиметаллов. Большие перспективы имеют нефелиновые и щелочные сиениты (Тежсар и др.), железорудная (Сваранц, Раздан, Абовян), золоторудная (Меградзор, Личкваз) и полиметаллическая (Газма, Азатек и др.) формации руд. Из редких и благородных элементов наиболее типичны для этого

пояса: рений, селен, теллур, висмут, кадмий, золото, серебро, а для формации щелочных и нефелиновых сиенитов—галлий, бериллий и редкие земли.

4. В Севано-Амасийском структурно-металлогеническом поясе важное промышленное значение имеют золоторудная (месторождения Зод, Гамзачиман и др.) и хромитовая (Шоржа, Джилъ и др.) формации руд. Подчиненное значение имеют месторождения и рудопроявления мышьяка, сурьмы и ртути. Из редких и благородных элементов для руд этого пояса наиболее характерны: теллур, висмут, селен, золото, серебро.

5. Каждая формация руд характеризуется определенным комплексом редких и благородных элементов.

Для медно-молибденовой формации характерны рений, селен, теллур, висмут, золото, серебро; на отдельных месторождениях—индий, галлий и кадмий.

Для колчеданной формации типичны селен, теллур, висмут, золото, серебро, на отдельных месторождениях (полиметаллических)—индий, кадмий при небольшой роли галлия.

С полиметаллической формацией тесно связаны кадмий, висмут, теллур, золото, серебро, на отдельных месторождениях — индий и галлий.

Для золоторудной формации типичны теллур, висмут, серебро, отчасти селен при небольшой роли кадмия, индия и галлия.

Железорудные формации бедны редкими и благородными элементами. Наиболее типичными для этих формаций являются титан и ванадий. На отдельных месторождениях установлены небольшие примеси германия, галлия, ниобия, тантала и редких земель.

С формацией нефелиновых и щелочных сиенитов связан специфичный комплекс редких элементов, среди которых наиболее типичны: галлий, бериллий и редкие земли (цериевой и иттриевой подгруппы), при небольшой роли скандия, ниобия и тантала.

6. Распределение редких и благородных элементов внутри единой формации руд неравномерно как по отдельным месторождениям, так и по различным стадиям минерализации, типам руд и отдельным минералам. Минералого-геохимическими исследованиями, проведенными на месторождениях различных формаций с многостадийностью рудообразования (Каджаран, Анкаван, Дастакерт, Кафан, Ахгала, Зод, Газма, Азатек и др.), установлено, что руды и минералы ранних стадий минерализации обычно бедны, а в отдельных случаях вообще лишены примесей редких и благородных элементов. Максимальные их концентрации, как правило, приурочены к ру-

дам и минералам средних и, отчасти, поздних стадий минерализации, продукты которых представляют промышленную ценность и по главным металлам.

7. Редкие и благородные элементы в рудах присутствуют в различных формах, как в виде примеси (изоморфной и др.) в сульфидах, порообразующих силикатах и аксессуарных минералах, так и самостоятельных минералов. Детальными минералогическими исследованиями с применением новейших методов диагностики за последние годы авторами работы в различных типах руд Армении установлено более 70 минералов редких элементов: теллура (алтаит, теллуrowисмутит, тетрадимит, мелонит и др.), германия (реньерит, германит), висмута (виттихенит, эмплектит, самородный висмут, айкинит, галеновисмутит и др.), золота (калаверит, петцит, сильванит и др.), серебра (гессит, штроемейерит, ялпаит, матильдит и др.), бериллия (хризоберилл, гадолинит), тантала и ниобия (пирохлор, лопарит, ильменорутит и др.), редких земель и иттрия (иттриолит, бастнезит, бритоцит и др.).

Исследования показали, что в рудах присутствуют молибдениты, резко обогащенные рением, селеном, висмутом и серебром; галениты, обогащенные селеном, серебром и висмутом; халькопириты с высоким содержанием селена, индия, германия, висмута; сфалериты, обогащенные кадмием, индием, германием и галлием; энргиты, теннантиты и борниты, содержащие высокие концентрации германия, серебра и селена; сфены, обогащенные ниобием, иттрием и редкими землями; апатиты и флюориты с высокими содержаниями редких земель; меланиты, обогащенные цирконием, ниобием и редкими землями, и цирконы, обогащенные гафнием и редкими землями.

8. Руды Армении содержат значительные концентрации редких и благородных элементов, которые должны комплексно извлекаться наряду с главными компонентами. В медно-молибденовых месторождениях интерес представляют рений, селен, теллур, висмут, золото, серебро; в медных и серноколчеданных месторождениях—селен, теллур, висмут, золото, серебро; полиметаллических—селен, теллур, индий, кадмий, галлий, золото, серебро; золоторудных—серебро, теллур, висмут, селен; железорудных—титан, ванадий. Щелочные и нефелиновые сиениты, наряду с алюминием, представляют интерес в отношении галлия, бериллия, редких земель и ниобия.

9. Научно-исследовательские работы по изучению и вскрытию закономерностей распределения редких и благородных элементов в рудных формациях Армянской ССР необходимо продолжать, уделяя особое внимание изучению их геохимии в рудоносных формациях пород.

- Адамян А. И.* Петрография щелочных пород Мегринского района Армянской ССР. Ереван, изд. АН Арм. ССР, 1955.
- Азизбеков Ш. А., Магакьян И. Г., Твалчрелидзе Г. А., Харчук Л. П.* Металлогения Кавказа. В кн. «Закономерности размещения полезных ископаемых», т. VII, М., изд. «Наука», 1964.
- Акопян А. Г.* О характере и виде функций распределения кадмия в главных сульфидах некоторых полиметаллических месторождений Айцдорского рудного района. Изв. АН Арм. ССР, сер. «Науки о Земле», т. XX, 1—2, 1967.
- Акопян Е. А.* Минералогия зоны окисления главнейших медно-молибденовых месторождений Армении. Ереван, изд. АН Арм. ССР, 1960.
- Акопян Е. А., Пиджян Г. О.* Висмут. В кн.: «Геология Армянской ССР», т. VI, Металлические полезные ископаемые. Ереван, изд. АН Арм. ССР, 1967.
- Амирян Ш. О.* Характер оруденения золота на одном месторождении. ДАН Арм. ССР, т. XXX, 1960<sub>1</sub>.
- Амирян Ш. О.* К минералогии золоторудных месторождений. ДАН Арм. ССР, т. XXXI, 1, 1960<sub>2</sub>.
- Амирян Ш. О.* О вещественном составе руд одного из золоторудных месторождений. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. XIII, 3—4, 1960<sub>3</sub>.
- Амирян Ш. О., Акопян А. Г.* О золоторудной минерализации на одном сурьмяно-полиметаллическом месторождении. Научн. технич. сб., Ереван, № 3—4, 1963.
- Амирян Ш. О., Карапетян А. И.* Минералого-геохимическая характеристика руд Меградзорского золоторудного месторождения. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. XVII, 2, 1964.
- Амирян Ш. О., Карапетян А. И.* Минеральный состав руд Меградзорского золоторудного месторождения. В кн. «Экспериментально-методические исследования рудных минералов». М., изд. «Наука», 1965.
- Амирян Ш. О.* К минералогии и золоторудной минерализации Гамзачиманского месторождения. Зап. Арм. отд. Всесоюз. минерал. об-ва, вып. 3, 1966<sub>1</sub>.

- Амирян Ш. О. Некоторые новые данные по минералогии и геохимии руд Личквасского золоторудного месторождения. Изв. АН Арм. ССР, сер. «Науки о Земле», т. XIX, 6, 1966<sub>2</sub>.
- Амирян Ш. О. Некоторые черты металлогении золота и золотоносные ассоциации минералов в Армянской ССР. Изв. АН Арм. ССР, сер. «Науки о Земле», т. XXI, 4, 1968.
- Арутюнян Л. А., Хуршудян Э. Х. Синтез дисульфида молибдена из тиомолибдатных растворов при высокой температуре. Геохимия, № 6, 1966.
- Асланян А. Т. Региональная геология Армении. Ереван, Айпетрат, 1958.
- Афанасьева Е. Л., Авситова А. К. Новые данные о минералах теллура в одном из медноколчеданных месторождений Закавказья. Изв. Вузов, сер. «Геол. и разв.», № 1, 1963.
- Багдасарян Г. П. Нефелиновые сиениты Памбакского хребта. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. III, 8, 1950.
- Багдасарян Г. П. Щелочные пегматиты Центральной Армении. ДАН Арм. ССР, т. XIX, 4, 1954.
- Багдасарян Г. П. О контактовых и постмагматических явлениях, связанных с комплексом щелочных пород Центральной Армении. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. IX, 8, 1956.
- Багдасарян Г. П., Гукасян Р. Х., Асланян А. М., Карапетян Г. А., Даштоян Г. Г., Мкртчян Д. Г., Тер-Григорян С. И., Чаталян С. Г. Итоги определения абсолютного возраста отдельных магматических комплексов Армянской ССР. Тр. X сессии комиссии по определению абсолютного возраста геологических формаций. М., Изд. АН СССР, 1962.
- Багдасарян Г. П. О возрастном расчленении интрузивов Сев. Армении в свете радиологических данных и геологических представлений. В кн. «Абсолютное датирование тектоно-магматических циклов и этапов оруденения по данным 1964 г.». М., Изд. АН СССР, 1966.
- Багдасарян Г. П., Гукасян Р. Х., Кирамян К. А. Итоги абсолютного датирования ряда рудных формаций Армянской ССР. Изв. АН СССР, сер. геол., т. XXI, 5, 1968.
- Бадалов С. Т. К геохимии золота и серебра в рудных месторождениях Алмалыка. Узб. геол. журнал., 5, 1951.
- Бадалов С. Т., Баситова С. М., Годунова Л. И. Распределение рения в молибденитах Средней Азии. Геохимия, 9, 1962.
- Бадалов С. Т., Терехович С. Л. К геохимии элементов платиновой группы в Алмалыкском рудном районе (УзССР). ДАН СССР, 168, 6, 1966.
- Бадалов С. Т., Бадалова Р. П., Калинин С. К., Терехович С. Л., Туресебеков А. К. Геохимии элементов платиновой группы в эндогенных месторождениях Средней Азии. ДАН СССР, 184, 2, 1969.
- Безсмертная М. С., Соболева Л. Н. Новый теллурид висмута и серебра, установленный новейшими микрометодами. Тр. ИМГРЭ, вып. 18, 1963.
- Белов Н. В., Бокий Г. Б. Современное состояние кристаллохимии и ее ближайшие задачи. Тр. I совещания по кристаллохимии. Рефераты докладов. Изд. АН СССР, 1954.

- Берг Г.* Геохимия месторождений полезных ископаемых. Изд. ОНТИ М.—Л., НКТП СССР, 1937.
- Бетехтин А. Г.* Гидротермальные растворы, их природа и процессы рудообразования. В кн. «Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях». М., Изд. АН СССР, 1955.
- Бетехтин А. Г., Генкин А. Д., Филимонова А. А., Шадлун Т. Н.* Текстуры и структуры руд. М., Госгеолтехиздат, 1958.
- Бокий Г. Б.* Введение в кристаллохимию. Изд. МГУ, 1953.
- Бокий Г. Б., Кристаллохимия.* Изд. МГУ, 1960.
- Бруэр Ф. М., Кокс Д. Д., Моррис Д.-Ф. К.* Нахождение германия в цинковых обманках. РЖ. геолог., 1956, № 6.
- Ванюшин С. С.* Геологические условия образования штоковерков в Кафанском рудном поле. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. X, 4, 1957
- Вартапетян Б. С.* Закономерности распределения медного оруденения на территории Армянской ССР. Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1965.
- Вартапетян Б. С., Ванюшин С. С., Мкртчян С. С., Мовсесян С. А.* Медь. В кн. «Геология Армении», т. VI, Металлические полезные ископаемые. Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1967.
- Вернадский В. И.* Очерки геохимии. М., Изд. АН СССР, 1934.
- Виноградов А. П.* Средние содержания химических элементов в главных типах пород. Геохимия, 1962, № 1.
- Вишневская Л. М., Зак С. Ш., Поплавко Е. М.* О ренниеносных свинцово-медных рудах Джебказганского месторождения. «Геология рудных месторожд.», 1961, № 6.
- Вольфсон Ф. И.* Проблемы изучения гидротермальных месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1962.
- Волынский И. С.* Определение рудных минералов под микроскопом. т. I—III, М., Госгеолиздат, 1947—1949.
- Волынский И. С., Логинова Л. А.* Сравнительная количественная характеристика оптических постоянных некоторых розовых сульфидов. Тр. ИМГРЭ, М., АН СССР, вып. 6, 1961.
- Генкин А. Д.* Условия нахождения и особенности состава минералов платиновой группы в рудах Норильского месторождения. «Геология рудных месторожд.», 1959, № 6.
- Генкин А. Д., Королев Н. В.* К методике определения небольших зерен минералов в рудах. «Геология рудных месторожд.», 1961, № 5.
- Генкин А. Д., Муравьева И. В.* Индит и джалиндит—новые минералы индия. Зап. Всесоюз. минерал. об-ва, вып. 4, 1963.
- Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов, т. 1—3, М., изд. «Наука», 1964—1966.
- Гинзбург А. И.* Некоторые вопросы геохимии германия и поисковые признаки богатых германием руд. Сб. «Геология месторождений редких элементов», вып. 5. Минералы германия и их месторождения. М., Госгеолтехиздат, 1958.
- Годовиков А. А.* Минералы ряда висмутин—галенит. Сиб. отд., Новосибирск, изд. «Наука», 1965.

- Гольдшмидт В. М., Петерс К. К.* К геохимии германия. Сб. статей по геохимии редких элементов, М.—Л., ГОНТИ, 1938.
- Горохова В. Н.* Рений. В кн. «Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов», т. I, Геохимия редких элементов. М., изд. «Наука», 1964.
- Григорян Г. О.* Пример взаимоисключения галенита и антимонита в пределах одного этапа минерализации. Изв. АН АрмССР, сер. геол.-геогр. наук, т. VIII, 3, 1955.
- Григорян Г. О.* Об антагонизме в парагенезисе некоторых сульфидных минералов в рудах Армянской ССР. «Геохимия», 1962, № 4.
- Грушевой В. Г.* Медные месторождения Алавердского района ССР Армении. Тр. ЦНИГРИ, вып. 36, 1935.
- Гуляян Э. Х., Дадаян Г. А.* Железорудные месторождения Армянской ССР. Ереван, изд. «Айпетрат», 1964.
- Гуляян Э. Х.* Измененные породы северного склона Баргушатского хребта и их поисковое значение. Изв. АН Арм. ССР, сер. «Науки о Земле», т. XX, 5—6, 1967.
- Дехтрикян С. А.* К методике определения малых количеств германия в рудах и минералах. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр., наук, т. X, 4, 1957.
- Дехтрикян С. А.* К определению германия в молибденитах и других сульфидах. ДАН Арм. ССР, т. XXVIII, 5, 1959.
- Джаффи Р., Мейкат Д. Дж., Дуглас Р. У.* Рений и тугоплавкие металлы платиновой группы. М., изд. ИЛ, 1963.
- Джонсон О.* Германий и его соединения. «Успехи химии», т. XXV, 1, 1956.
- Долуханова Н. И.* Опыт применения гидрохимической съемки на медно-молибденовых месторождениях Армянской ССР. Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1958.
- Дэна Дж. Д., Дэна Э. С., Пэлач Ч., Берман Г., Фрондслей К.* Система минералогии, т. I—II, М., изд. ИЛ, 1950—1954.
- Жукова А. С.* К геохимии германия. Тр. ИМГРЭ АН СССР, вып. 3, 1959.
- Жукова А. С.* Германий. В кн. «Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов», т. I, «Геохимия редких элементов», М., изд. «Наука», 1964.
- Замятин П. М., Чирков И. Н.* Пирдоуданское медно-молибденовое месторождение в ССР Армении. «Цветные металлы», 1937, № 1.
- Зарьян Р. Н.* Формы нахождения селена и теллура в рудах Кафанского месторождения. «Геохимия», 1962<sub>1</sub>, № 3.
- Зарьян Р. Н.* Теллуриды и теллурид свинца в рудах Кафанского месторождения. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. XV, 2, 1962<sub>2</sub>.
- Зарьян Р. Н.* О стадиях минерализации Кафанского медно-полиметаллического месторождения. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. XVI, 4—5, 1963<sub>1</sub>.
- Зарьян Р. Н.* К минералогии руд Аткизского участка Каджаранского месторождения. Зап. Арм. отд. Всесоюз. минерал. об-ва, вып. 2, 1963<sub>2</sub>.

- Зарьян Р. Н.* Искусственный теллура́т свинца. Изв. АН Арм ССР, сер. «Науки о Земле», т. XIX, 1—2, 1966.
- Звягинцев О. Е., Филиппов А. Н.* О нахождении платины в сернистых рудах. ДАН СССР, 1, № 2—3, 1935<sub>1</sub>.
- Звягинцев О. Е., Филиппов А. Н.* О содержании платины в минералах сернистых руд. ДАН СССР, 1, № 2—3, 1935<sub>2</sub>.
- Звягинцев О. Е.* Геохимия золота. М., Изд. АН СССР, 1941.
- Иваницкий Т. В.* Геология, минералогия и геохимия свинцово-цинковых и полиметаллических месторождений Грузии. Тбилиси, Изд. АН Груз. ССР, Тбилиси, 1963.
- Иванов В. В.* Кадмий, индий, таллий. В кн. «Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов». т. I, Геохимия редких элементов. М., изд. «Наука», 1964<sub>1</sub>.
- Иванов В. В.* Минералого-геохимические черты и индиенность оловорудных месторождений Якутии. М., изд. «Наука», 1964<sub>2</sub>.
- Каленов А. Д., Анисеева В. И., Масленникова С. Б.* Германиевые минералы в медноколчеданных рудах. ДАН СССР, 194, № 3, 1963.
- Калинин С. К., Митряева Н. М., Юнусова Л. Г.* О содержании палладия и платины в рудах Бошекуля. Вестн. АН Каз. ССР, 1963, № 3.
- Каменцев И. Е.* О влиянии температуры кристаллизации на количество примесей, входящих в структуру кварца и изменение параметров элементарной ячейки. «Геохимия», 1963, № 6.
- Карамян К. А.* Германиевые сульфиды Дастакертского медно-молибденового месторождения. ДАН Арм. ССР, т. XXVII, 4, 1958.
- Карамян К. А.* Германит и реньерит в рудах Дастакертского медно-молибденового месторождения. Зап. Арм. отд. Всесоюз. минерал. об-ва, вып. 1, 1959<sub>1</sub>.
- Карамян К. А.* Некоторые особенности развития тектоники и минерализации Личкской группы месторождений. Зап. Арм. отд. Всесоюз. минерал. об-ва, вып. 1, 1959<sub>2</sub>.
- Карамян К. А., Фарамазян А. С.* Стадии минерализации Каджаранского медно-молибденового месторождения. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр., наук, т. XIII, 3—4, 1960.
- Карамян К. А.* Структура и условия образования Дастакертского медно-молибденового месторождения. Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1961.
- Карамян К. А.* О корреляции рения, селена и теллура в молибденитах Каджаранского медно-молибденового месторождения. Геохимия, 1962, № 2.
- Карамян К. А., Пиджян Г. О., Хачатурян Э. А.* Научные основы поисков руд на территории Армянской ССР. Тр. ИГН АН Арм. ССР, 1963.
- Карапетян А. И., Гольденберг Г. И.* Особенности минерализации Айгедзорского месторождения. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. XII, 3, 1959.
- Карапетян А. И.* Количественная характеристика оптических постоянных реньерита и германита. ДАН Арм. ССР, т. XXXIII, 3, 1961<sub>1</sub>.

- Жарпетян А. И.* Штрмейерит в рудах Ахталского полиметаллического месторождения. ДАН Арм. ССР, т. XXXIII, 5, 1961<sub>2</sub>.
- Жарпетян А. И.* Характер оруденения золота на одном медно-молибденовом месторождении. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр., наук, т. XIV, 4, 1961<sub>3</sub>.
- Жарпетян А. И.* Теллуриды в рудах Анкаванского месторождения. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр., наук, т. XIV, 6, 1961<sub>4</sub>.
- Жарпетян А. И.* Сульфовисмутиты меди в рудах Анкаванского медно-молибденового месторождения. Зап. Арм. отд. Всесоюз. минерал. об-ва, вып. 2, 1963<sub>1</sub>.
- Жарпетян А. И.* Реньерит и германит в рудах медно-колчеданного месторождения. Зап. Всесоюз. минерал. об-ва, вып. 3, 1963<sub>2</sub>.
- Жарпетян А. И.* Значение минералого-геохимических исследований для промышленной оценки германия, устанавливаемого в рудах сульфидных месторождений. Тезисы докл. совещ. молодых научных сотрудников. Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1963<sub>3</sub>.
- Жарпетян А. И.* К геохимии германия в гранитоидах Анкаванского интрузивного массива. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр., наук, т. XVI, 2, 1963<sub>4</sub>.
- Жарпетян А. И., Амирян Ш. О.* Об обнаружении теллуридов золота, серебра, висмута и свинца в рудах Меградорского золоторудного месторождения. ДАН Арм. ССР, т. XXXVIII, 1, 1964.
- Жарпетян А. И., Паланджян С. А.* Германий в интрузивных породах юго-восточной части Севанского хребта. Изв. АН Арм. ССР, сер. «Науки о Земле», т. XIX, 5, 1966.
- Жарпетян А. И.* Новые данные о минеральном составе руд Разданского железорудного месторождения. Зап. Арм. отд. Всесоюз. минерал. об-ва, вып. 4, 1969.
- Жарпетян О. Т.* Геологический очерк ССР Армении. Мат. по районированию СССР, вып. 1, Ереван, 1928.
- Кашкай М. А.* О генетической связи месторождений колчеданных и некоторых медных и полиметаллических руд с кислыми магмами. «Сов. геология», 50, 1954.
- Котляр В. Н.* Структура Зангезурского рудного поля. Изв. АН СССР, 1938, № 2.
- Котляр В. Н.* Структура и генезис Мисханского молибденово-медного месторождения в Армении. Изв. АН Арм. ССР, сер. техн. наук, 2, 1946.
- Котляр В. Н.* Памбак. Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1959.
- Котляр В. Н., Фаворская М. А.* О взаимоотношении некоторых типов оруденения с эффузивными формациями. В кн. «Проблемы вулканизма». Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1959.
- Кочинян Г. Е.* К вопросу о генезисе проявлений редких земель в щелочных породах. Тр. НИГМИ, вып. 3, Ереван, 1962.
- Кузнецов К. Ф.* Редкие и рассеянные элементы в рудах некоторых полиметаллических месторождений Нерчинско-Заводской группы (Восточное Забайкалье). Тр. ИМГРЭ, вып. 2, 1959.

- Куус Х. Я. Исследование содержания германия с гидроокислами железа. Изв. Вузов, сер. химич. технолог., вып. 2, 1960.
- Лебедева С. И. Определение микротвердости минералов. М., Изв. АН СССР, 1963.
- Логинова Л. А. Опыт измерения оптических постоянных германита и реньерита. Тр. ИМГРЭ, вып. 4, 1960.
- Ломашов И. П., Лосьев Б. И. Германий в ископаемых углях. М., Изд. АН СССР, 1962.
- Луценко В. И., Акмаева С. С. С балансе распределения металлов в продуктах обогащения. ДАН Арм. ССР, т. XXX, 2, 1960.
- Магакьян И. Г., Карапетян О. Т. Мец-Дзорское месторождение медно-мышьяково-оловянных руд. Изв. АН Арм. ССР, сер. технич. наук, 1944, № 1—2.
- Магакьян И. Г., Ароян-Иашивили В. А. Новые данные по геологии и рудоносности Баргушатского хребта. Изв. АН Арм. ССР, сер. техн. наук, 1946, № 10.
- Магакьян И. Г. Алавердский тип оруденения и его руды. Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1947.
- Магакьян И. Г. Рассеянные и редкоземельные металлы. Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1957<sub>1</sub>.
- Магакьян И. Г. Сурьмянистый теллуросмугит Зодского золоторудного месторождения (Басаргечарский район Армянской ССР). Зап. Всесоюзн. минерал. об-ва, вып. 3, 1957<sub>2</sub>.
- Магакьян И. Г. Основы металлогении материков. Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1959<sub>1</sub>.
- Магакьян И. Г. Основные черты металлогении Армении. «Сов. геология», 1959<sub>2</sub>, № 6.
- Магакьян И. Г., Мкртчян С. С., Пиджян Г. О. Условия образования и размещения медно-молибденовых порфировых месторождений Армянской ССР. В кн. «Закономерности размещения полезных ископаемых», т. V, М., Изд. АН СССР, 1962.
- Магакьян И. Г., Пиджян Г. О., Фарамазян А. С. Рений в медно-молибденовых месторождениях Армянской ССР. ДАН Арм. ССР, 37, 2, 1963.
- Магакьян И. Г., Пиджян Г. О., Фарамазян А. С. Особенности поведения рения в молибденитах месторождений медно-молибденового пояса Армянской ССР. Тр. II Всесоюзн. совещания по рению. Сб. «Рений» М., изд. «Наука», 1964.
- Магакьян И. Г. Закономерности размещения и прогноз оруденения на территории Армянской ССР. Изв. АН Арм. ССР, сер. «Науки о Земле», т. XIX, 6, 1966<sub>1</sub>.
- Магакьян И. Г. Рудоносные магматические комплексы и рудные формации территории Армянской ССР. ДАН Арм. ССР, 43, 4, 1966<sub>2</sub>.
- Магакьян И. Г., Амирян Ш. О. Золото. В кн. «Геология Армянской ССР», т. VI, Металлические полезные ископаемые. Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1967.

- Магакьян И. Г., Пиджян Г. О., Хачатурян Э. А. Редкие и рассеянные металлы в рудах Армянской ССР. В кн. «Геология Армянской ССР», т. VI. Металлические полезные ископаемые. Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1967.
- Максимов А. А. Германий в железо-марганцевых месторождениях Центрального Казахстана. Изв. ВУЗ-ов, сер. «Геол. и разв.», 1958, № 1.
- Малхасян Э. Г. Петрография интрузивных пород Даралагеза. Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1958.
- Межлумян Г. Б. О генезисе Сваранцского железорудного месторождения. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. XIII, 1, 1960.
- Межлумян Г. Б. Вторичные кварциты района Сваранцского железорудного месторождения. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. XIV, 2, 1961.
- Меликсетян Б. М. О некоторых особенностях турмалинизации. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. XII, 5, 1959.
- Меликсетян Б. М. Акцессорный ортит из Мегринского плутона. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. XIII, 1, 1960.
- Меликсетян Б. М. Акцессорные минералы в породах Мегринского плутона. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. XIII, 2, 1960<sub>2</sub>.
- Меликсетян Б. М. О соотношении Zr и Hf в цирконах из пород Мегринского плутона. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. XIII, 5, 1960<sub>3</sub>.
- Меликсетян Б. М., Хуршудян Э. Х., Фармазян А. С. Теллурувисмутит и некоторые другие теллуриды из Калерского месторождения молибденита ДАН Арм. ССР, т. XXX, 4, 1960.
- Меликсетян Б. М. О находке хризоберилла в щелочных пегматитах Мегринского района. Зап. Арм. отд. Всесоюз. минерал. об-ва, вып. 2, 1963<sub>1</sub>.
- Меликсетян Б. М. Минералого-геохимические особенности щелочных пород Мегринского плутона. Зап. Арм. отд. Всесоюз. минерал. об-ва, вып. 2, 1963<sub>2</sub>.
- Меликсетян Б. М. К геохимии редких земель и итрия в гранитоидах. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. XVI, 3, 1963<sub>3</sub>.
- Месторождения редких и малых металлов СССР, т. I, II. М., Изд. АН СССР, 1939.
- Мидян А. Г. Золоторудные провинции Армении. Тр. Упр. геологии и охр. недр, вып. 2, 1959.
- Мидян А. Г. Ассоциации самородного золота, связанные с отдельными магматическими комплексами Армении. Научн. техн. сб., 1961, № 4.
- Михеев В. И. Рентгенометрический определитель минералов, т. I. М., Госгеолиздат, 1957.
- Мкртчян С. С. Каджаранское медно-молибденовое месторождение. Изв. АН Арм. ССР, сер. техн. наук, 1943, № 1.
- Мкртчян С. С. Зангезурская рудоносная область Армянской ССР. Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1958.
- Мкртчян С. С. Калерское месторождение молибденита. Зап. Арм. отд. Всесоюз. минерал. об-ва, вып. I, 1959.

- Мкртчян С. С.* К проблеме поисков скрытых колчеданных и медно-молибденовых рудных тел на Малом Кавказе. «Геология рудн. месторождений», 1960, № 4.
- Мкртчян С. С., Паффенгольц К. Н., Хачатурян Э. А.* Алавердский рудный район (геология и рудоносность). Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1968.
- Мовсесян С. А.* Пирдоуданское медно-молибденовое месторождение. Ереван, Изд. АН ФАНа, 1941.
- Мовсесян С. А.* Интрузии Центральной части Зангезурского (Конгур-Алангезского) хребта и связанные с ними полезные ископаемые. Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1953.
- Могаровский В. Г.* О связи рения и селена в молибденитах Каджаранского месторождения (Армянская ССР). «Геохимия», 1963, № 6.
- Момджи Г. С., Григорьев В. М.* Германий в железных рудах. Сб. «Геология месторождений редких элементов», вып. 5. Минералы германия и их месторождения. М., Госгеолтехиздат, 1958.
- Морозов Н. Д.* Адрасманский район висмутовых месторождений. «Редкие металлы», 1934, № 3.
- Налбандян Э. М., Пароникян В. О.* О рудовмещающих породах Алавердского месторождения. Изв. АН Арм. ССР, сер. «Науки о Земле», т. XIX, 6, 1966.
- Ноддак И. и В.* Геохимия рения.— Сб. «Основные идеи геохимии», вып. 2, под ред. А. Е. Ферсмана, Л., 1935.
- Пароникян В. О.* Алтант из руд Азатекского месторождения. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. XIV, 6, 1961.
- Пароникян В. О.* Минералы висмута из полиметаллических руд Айоцдзорского рудного района. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. XV, 3, 1962<sub>1</sub>.
- Пароникян В. О.* К минералогии руд Ахталского полиметаллического месторождения. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. XV, 3, 1962<sub>2</sub>.
- Пароникян В. О.* К вопросу о корреляционной связи содержаний рудообразующих химических элементов на одном из полиметаллических месторождений Армянской ССР. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. XVI, 6, 1963.
- Пароникян В. О.* Характер минерализации полиметаллической формации руд Айоцдзорского рудного района Армянской ССР. Изв. АН Арм. ССР, геол.-геогр. наук, т. XVII, 3—4, 1964.
- Пароникян В. О., Матевосян А. Ш.* Самородный мышьяк из Амасийского месторождения Армянской ССР. ДАН Арм. ССР, 41, 4, 1965.
- Пароникян В. О.* Характер распределения частот содержаний металлов в теле полезного ископаемого. Изв. АН Арм. ССР, сер. «Науки о Земле», т. XIX, 1—2, 1966.
- Пароникян В. О.* О форме нахождения серебра в галенитах некоторых месторождений Армянской ССР. Зап. Всесоюз. минерал. об-ва, вып. 4, 1967<sub>1</sub>.

- Пароникян В. О.* К геохимии благородных и некоторых редких элементов в колчеданной и полиметаллической формации руд Армянской ССР. Изв. АН Арм. ССР, сер. «Науки о Земле», т. XX, 5—6, 1967<sub>2</sub>.
- Пароникян В. О., Савченко М. А., Серебро.* В кн. «Геология Армянской ССР», т. VI, Металлические полезные ископаемые. Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1967.
- Петровская Н. В.* Минералогия и геохимия селена, теллура, индия и кадмия. М., изд. ВИМС, 1958.
- Пиджян Г. О.* К геохимии руд Дастакертского медно-молибденового месторождения. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. XI, 4, 1958.
- Пиджян Г. О.* К минералогии руд Каджаранского медно-молибденового месторождения. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. XIII, 2, 1960<sub>1</sub>.
- Пиджян Г. О.* Германиевые минералы и германиеносные сульфиды одного медно-молибденового месторождения. ДАН Арм. ССР, 30, 3, 1960<sub>2</sub>.
- Пиджян Г. О.* Закономерности распределения селена и теллура в рудах медно-молибденовых месторождений Арм. ССР. Изв. АН Арм. ССР, сер. «Науки о Земле», т. XX, 5—6, 1967.
- Пиджян Г. О.* Теллуриды в рудах Агаракского, Дастакертского и Джиндаринского месторождений. Зап. Арм. отд. Всесоюз. минерал. об-ва, вып. 4, 1969.
- Поплавко Е. М., Марчукова И. Д., Зак С. Ш.* Ренийный минерал в рудах Джекказганского месторождения. ДАН СССР, 146, 12, 1962.
- Разенкова Н. И., Поплавко Е. М.* К вопросу о форме нахождения рения в рудах Джекказганского месторождения. «Геохимия», № 8, 1963.
- Рамдор П.* Рудные минералы и их сростания. М., изд. ИЛ, 1962.
- Родионов Д. А.* Функции распределения содержаний элементов и минералов в изверженных горных породах. Изд. «Наука», 1964.
- Сагателян Э. А.* Минералогия свинцово-сурьмяных руд Азатекского месторождения Армянской ССР. Ереван, изд. АН Арм. ССР, 1961.
- Сатпаева Т. А., Калинин С. К., Файн Э. Е.* О содержании рения в медных рудах Джекказгана. Вестн. АН Каз. ССР, 1959, № 5.
- Сауков А. А.* Геохимия. М., Геолиздат, 1950.
- Семенов Е. И.* Минералогия редких земель. М., изд. «Наука», 1963.
- Сендульская Т. И., Шпирт М. Я.* О сосаждении микроколичеств германия с гидроокисью железа. ДАН СССР, 134, 5, 1960.
- Синдеева Н. Д.* Минералогия, типы месторождений и основные черты геохимии селена и теллура. М., Изд. АН СССР, 1959.
- Синдеева Н. Д., Годовиков А. А.* Об изоморфизме между серой и теллуром в галените. ДАН СССР, 127, 2, 1959.
- Смирнов В. И.* Геологические основы поисков и разведки рудных месторождений. М., изд. МГУ, 1954.
- Смирнов С. С.* Избранные труды. М., Изд. АН СССР, 1955.
- Сопко П. Ф.* Геология колчеданных месторождений Алавердского рудного района. Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1961.

- Студенникова З. В., Золотарева В. А. Рений в молибденитах месторождения Тырны-Ауз. «Геохимия», 1958, № 1.
- Гараян В. М., Мушегян Л. Г. Новый метод разделения рения и молибдена. ДАН Арм. ССР, 27, 3, 1958<sub>1</sub>.
- Гараян В. М., Мушегян Л. Г. К колориметрическому определению рения в присутствии молибдена. Изв. АН Арм. ССР, сер. хим., 6, 1958<sub>2</sub>.
- Гараян В. М., Авакян Т. Т. К колориметрическому определению селена и теллура в сульфидных рудах. «Заводская лаборатория», 27, 8, 1961.
- Татаринов П. М. Условия образования месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. М., Госгеолтехиздат, 1963.
- Таусон Л. В. Геохимия редких элементов в гранитоидах. М., изд. АН СССР, 1962.
- Твалчрелидзе Т. А. Золото-висмут-теллуровая ассоциация Дамблудского и Зодского месторождений. Тр. КИМС, Тбилиси, 1959.
- Терехович С. Л. Спектрографическое определение элементов платиновой группы. Сб. «Усовершенствование методики спектрального анализа благородных металлов», М., 1967.
- Тимофеева Т. С. Минералы платины и палладия в рудах золотоколчеданного месторождения. Зап. Всесоюз. минерал. об-ва, вып. 4, 1968.
- Фарамазян А. С. К минералогии полиметаллических руд Каджаранского медно-молибденового месторождения. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. XI, 6, 1958.
- Фарамазян А. С. Закономерности распределения рения в рудах Каджаранского месторождения. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. XIV, 1, 1961.
- Фарамазян А. С., Хуршудян Э. Х. Энаргит и люционит из Каджаранского медно-молибденового месторождения. Зап. Арм. отд. Всесоюз. минерал. об-ва, вып. 2, 1963.
- Фарамазян А. С., Акопян А. Г. Рений в некоторых молибденовых рудопоявлениях Айоцзорского рудного района. Изв. АН Арм. ССР, сер. геолог.-географ. наук, т. XVI, 3, 1963.
- Фарамазян А. С., Хуршудян Э. Х. К вопросу об изоморфизме между молибденом и рением в молибденитах. Докл. АН Арм. ССР, 37, 4, 1963.
- Фарамазян А. С., Зарьян Р. Н. Особенности геохимии селена и теллура в рудах Каджаранского рудного поля.—Геохимия, 1964, № 11.
- Ферсман А. Е. Геохимия. т. I—IV. Л., Госхимиздат, 1934—1939.
- Хачатурян Э. А. К минералогии серноколчеданных руд Тандзутского и Чибухлинского месторождений Армянской ССР. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. X, 3, 1957.
- Хачатурян Э. А. Алтаит и петцит в рудах Кафанского месторождения. ДАН Арм. ССР, 26, 3, 1958<sub>1</sub>.
- Хачатурян Э. А. О минералогическом составе руд Кафанского месторождения. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. XI, 6, 1958<sub>2</sub>.
- Хачатурян Э. А., Коджоян А. А. Об обнаружении реньерита на одном из полиметаллических месторождений Армянской ССР. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук, т. XIII, 3—4, 1960.

- Хачатурян Э. А., Пароникян В. О. Гипогенный ковеллин в рудах Тандзутского месторождения. Зап. Арм. отд. Всесоюз. минерал. об-ва, вып. 2, 1963.
- Хитаров Н. И. Магма и ее взаимоотношения с водой. Тр. ИГН АН Арм. ССР, Ереван, 1963.
- Хрущов Н. А., Круглова В. Г., Панкова В. Е., Пенсионерова В. М., Розовская Г. В. Распределение рения, селена и теллура в молибденитовых месторождениях Советского Союза. Сб. «Минеральное сырье», вып. 1, 1960.
- Хуришудян Э. Х., Геворкян С. В. К вопросу о рентгенометрической диагностике реньерита. ДАН Арм. ССР, 35, 2, 1962.
- Хуришудян Э. Х. К вопросу об условиях образования ромбоздрической модификации молибденита. ДАН СССР, 171, 1, 1966.
- Шейнманн Ю. М., Апельцин Ф. Р., Нечаева Е. А. Щелочные интрузии, их размещение и связанная с ними минерализация. сер. «Геология месторождений редких элементов», вып. 12—13, 1961.
- Шнейдерхен. Рудные месторождения. М., изд. ИЛ, 1958.
- Шубникова О. М. Реньерит. В кн. «Минералы», т. 1. М., изд. АН СССР, 1960.
- Шутлив Ф. А. Зангезурское медно-полиметаллическое месторождение в Армении. Тр. МГРИ, 20, 1940.
- Щербак О. В. О механизме накопления германия в железных рудах и углях. Сб. «Минеральное сырье», вып. 6, 1962.
- Щербина В. В. Основные черты геохимии теллура. Изв. АН СССР, сер. геол., 1937, № 5.
- Щербина В. В. О геохимическом значении количественного отношения  $Ag/Au$ . «Геохимия», 1956, № 3.
- Щербина В. В., Зарьян Р. Н. Парагенезис теллуридов серебра как минералов в системе  $Ag-Au-Te$ . Геохимия, 1964, № 7.
- Эфендиев Г. Х. К геохимии германия. Изв. АН Азерб. ССР, сер. физ.-техн. и хим. наук, 1958, № 1.
- Юшко-Захарова О. Е., Иванов В. В., Разина И. С., Черняев Л. А. К геохимии элементов платиновой группы. Геохимия, 1967, № 11.
- Ahrens H. L. The use of ionization potentials, Pt. I. Ionic radii of the elements. Geochim. et Cosmochim. Acta, v. 2, 1952.
- Anderson A. L. Lead-silver mineralisation in the Clark Fork district, Banner country, Idaho. Econ. Geol., v. XLI, 1946, № 2.
- Bastin E. S. Paragenetic relations in the silver ores of Zacatecas, Mexico. Econ. Geol., V.—XXXVI, 1941, № 4.
- Baumann L. Tektonik und Genesis der Erzlagerstätte von Freiberg (Zentralteil). Akademie Verlag, Berlin, 1958.
- Bichan W. I. Gold deposition. Econ. Geol., v. 139, 1954, № 9/10.
- Blumfeldt H. Wismut-Aufgaben, Vorkommen und Gewinnung. "Metall", 8, 1954, № 9/10.

- Boyle R. W.* Occurrence and geochemistry of native silver in the lead-rine silver lodes of the Keno-Hill-Galena Area, Yukon, Canada. Neues Jahrb. f. Min., Band 94, Stuttgart, 1960.
- Emmons W. H.* Gold deposits of the World. New York, 1938.
- Fron del C.* Stability of colloidal Gold under hydrothermal condition. Ec. Geol., v. II, 1938, № 1.
- Gastinger E.* Forschungsrichtungen in der Chemie des Germaniums. Fortschritte der chemischen Forschung, 3, H. 3, 1955.
- Goldschmidt V. M.* Geochimistry, Oxford, 1954.
- Green J.* Geochemical table of the elements for 1959. Geol. Soc. Am. Bull., 70, 1959.
- Harris P. G.* The determination of germanium along coexisting phases of partly glassy rocks. Geoch. et Cosmoch. Acta., v. 5, № 4, 1954.
- Herr W., Merz E.* Zs. f. Naturforschung. Bd. 13a, № 3, 1958.
- Hinterberger H., Herr W., Voshage H.* Phys. Rev., vol. 95, № 6, 1954.
- Jong W. F.* Die Kristallstruktur von Germanit. Zsch. Kryst., v. 73, 1930.
- Kordes E.* Die Beziehungen zwischen den Pissoziations-dampfbrüchen von Sulfiden und ihrer Ausscheidungsfolge auf magmatogenen Erzlagern. Mln. Petr. Mitt. XLVI, 1935.
- Krausropx K. B.* The solubility of Gold. Econ. Geol., v. 46, 1951, № 8.
- Kriesel F. W.* Über die Analyse des neuen Germanium—Gallium—Minerals "Germanit"; Chem—Zeitung, v. 48.
- Lambot H.* Sur la renierite Analyse; Soc. geol. Belgique, t. 73, 1950.
- Levy Cl., Pruvost I.* Rapport entre la chalcopyrite, la stannite, la renierite et la germanite. Bul. Sol. frans. de Mineral et de Crystall., f. 80, 1957, № 1—3.
- Markham N. L.* Synthetic and Natural phases in the System Au—Ag—Te, Econ. Geol., v. 55, № 6, Sept.—Oct. 1960.
- Morgan I.* Rapport sur le mines de cuivre, de plomb et d'argent d'Achtala (Caucase), 1886, Paris.
- Moritz H.* Die sulfidischen Erze der Tsumeb Min. von Ausgehenden bis zur Sohle/60 m. Neues Jahrb. Beilage—Band 67, A, 1933.
- Murdoch I.* X-ray investigation of colusite, germanite and renierite: Am. Mineralogist, v. 38, 1953.
- Naldrett S. D., Libby W. F.* Phys. Rev., vol. 73, 1948, № 5.
- Nareen H. V., Thomson R. M.* Minor elements in Gold Econ. Geol. vol. XXXIX, 1944, № 7.
- Noddack J., Noddack W.* Die Geochemie des Rheniums. Z. phys. Chemic., 1951.
- Ogrysslo S.* Hydrothermal experiments with Gold. Econ. Geol., vol. 30, 1935, № 4.
- Onishi H.* Notes geochemistry of germanium. Bull. Chem. Soc. Japan, 29, 6, 1956.
- Pufahl O.* Germanit ein Germanium—Mineral und Erz von Tsumeb, Südwest—Afrika; Metall Erz, v. 19, 1922.

- Rancama K., Sahama T. G.* Geochemistry, Chicago, 1950.
- Robinson S. C.* Synthesis of lead sulphantimonites. *Econ. Geol.*, v. XLIII, 1947, № 4.
- Roy R., Majumdar A., Hulbe C. W.* The  $Ag_2S$  and  $Ag_2Se$  transitions as geologic thermometers. *Econ. Geol.*, v. 54, 1959. № 7.
- Schroll E.* Spulelementparagenese ostalpiner Zinkblenden. *Anz. Oesterr. Akad. Wiss.*, 87, 1950.
- Schron W.* Ein Beitrag zur Geochemie des Germaniums. *Chemie der Erde*, Band 27, Heft 3, 1968.
- Scar Ch. B.* The paragenetic relationships of germanit and renierit from Tsumed. *Econ. Geol.*, v. 52, 1957. № 6.
- Smith F. G.* The alkali sulphide theory of Gold deposition. *Econ. Geol.*, v. 38, 1943, № 7.
- Strunz H., Geier B. H., Seeliger E.* Gallit, Cu, Ca,  $S_2$ , das erste selbständige Galliummineral und sein Verbreitung in den Erzen der Tsuseb und Kipushi. *Min. Neues Jahrb, f. Miner.*, H. 11/12, 1958.
- Thomson E. A.* Mineralogic study of germanite: Toronto, Univ. Studes, Geol. Geol. ser. 14.
- Uytenbogaardt W.* Tables for microscopic identification of ore minerals.
- Warren H. V.* Relation between silver content and tetrahedrite in ores of Cananea, Mexico, *Econ. Geol.*, v, XXVIII, 1932, № 8.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	5
<b>I. Основные черты металлогении территории Армянской ССР</b> (И. Г. Магакьян)	9
<b>II. Закономерности распределения редких и благородных элементов по рудным формациям</b>	20
<b>A. Медно-молибденовая формация (Г. О. Пиджян, А. С. Фарамазян)</b>	20
1. Каджаранское месторождение (А. С. Фарамазян)	21
2. Агаракское месторождение (А. С. Фарамазян)	32
3. Дастакертское месторождение (Г. О. Пиджян)	34
4. Анкаванское месторождение (А. И. Карапетян)	38
5. Джиндаринское месторождение (А. С. Фарамазян)	42
6. Айгедзорское месторождение (А. С. Фарамазян)	44
7. Капутджухское проявление (А. С. Фарамазян)	47
8. Вардениское проявление (А. С. Фарамазян)	47
9. Прошибердское проявление (А. С. Фарамазян)	48
10. Эллинское проявление (А. С. Фарамазян)	50
11. Техутское проявление (Г. О. Пиджян)	52
<b>Б. Колчеданная формация (А. И. Карапетян)</b>	55
1. Кафанское месторождение (Р. Н. Зарьян)	56
2. Шамлугское месторождение (В. О. Пароникян)	60
3. Алавердское месторождение (В. О. Пароникян)	63
4. Анкадзорская группа месторождений (А. С. Фарамазян)	65
5. Чибухлинское месторождение (Р. Н. Зарьян)	67
6. Палантекианское проявление (Р. Н. Зарьян)	68
7. Спасакарское проявление (Р. Н. Зарьян)	68
8. Агвинское проявление (В. О. Пароникян)	68
9. Тандзутское серноколчеданное месторождение (Ш. О. Амирян)	70
10. Чибухлинское серноколчеданное месторождение (Р. Н. Зарьян)	72
11. Ахталское полиметаллическое месторождение (А. И. Карапетян)	73

12. Шаумян-Халаджское полиметаллическое месторождение (Г. О. Пиджян)	77
В. Золоторудные формации (Ш. О. Амирян)	83
1. Зодское месторождение (Ш. О. Амирян)	85
2. Меградзорское месторождение (Ш. О. Амирян)	92
3. Личквазское месторождение (Ш. О. Амирян)	100
4. Амзачиманское месторождение (Ш. О. Амирян)	105
5. Сарнахпюрское проявление (А. И. Карапетян)	108
6. Дилижанское месторождение россыпного золота (Ш. О. Амирян)	108
Г. Полиметаллическая формация (В. О. Пароникян)	114
1. Газминское месторождение (В. О. Пароникян, А. Г. Акопян)	115
2. Азатекское месторождение (В. О. Пароникян, А. Г. Акопян)	119
3. Гюмушханское месторождение (В. О. Пароникян, А. Г. Акопян)	123
4. Каялинское месторождение (В. О. Пароникян, А. Г. Акопян)	126
5. Аткизское месторождение (Р. Н. Зарьян)	128
6. Чирахлинское проявление (В. О. Пароникян)	129
7. Барцраванское (Мазринское) проявление (Г. О. Пиджян)	132
8. Аравусское проявление (Г. О. Пиджян)	133
9. Енгиджинское проявление (В. О. Пароникян)	134
Д. Свинцово-цинковая формация (В. О. Пароникян)	138
1. Привольненское месторождение (Р. Н. Зарьян)	138
2. Джргалидзорское проявление (А. И. Карапетян)	139
3. Тауз-булахское проявление (А. А. Карапетян)	139
4. Мовсесское месторождение (А. И. Карапетян)	140
5. Марцигетская группа проявлений (Р. Н. Зарьян)	141
Е. Медно-мышьяковая формация	142
1. Мец-дзорское месторождение (А. И. Карапетян)	142
Ж. Железорудные формации (В. О. Пароникян)	144
1. Разданское месторождение (А. И. Карапетян)	145
2. Абовянское месторождение (А. И. Карапетян)	147
3. Сваранцское месторождение (Г. О. Пиджян)	149
4. Цакеридошское месторождение (Г. О. Пиджян)	150
5. Агарцинское месторождение (Г. О. Пиджян)	150
З. Марганцовая формация	152
1. Саригюхское месторождение (Г. О. Пиджян)	152
2. Севкарское месторождение (Г. О. Пиджян)	152
гакьян, Б. М. Меликсетян)	152

И. Формация нефелиновых и щелочных сиенитов (И. Г. Магакьян, Б. М. Меликсетян) . . . . .	152
1. Тежсарское месторождение (Б. М. Меликсетян) . . . . .	152
2. Мегринское месторождение (Б. М. Меликсетян) . . . . .	159
III. Минералы редких и благородных элементов . . . . .	169
А. Минералы рудных месторождений (золото и минералы теллура—Ш. О. Амирян; минералы германия—А. И. Карапетян; минералы серебра и сульфовисмутиты свинца—В. О. Пароникян; минералы висмута—Г. О. Пиджян) . . . . .	169
1. Самородные элементы . . . . .	169
2. Теллуриды, сульфиды . . . . .	177
3. Сульфосоли . . . . .	213
4. Окислы и гидроокислы . . . . .	245
Б. Минералы месторождений щелочных и нефелиновых сиенитов (Б. М. Меликсетян) . . . . .	247
IV. Геохимия редких и благородных элементов . . . . .	262
1. Селен и теллур (Р. Н. Зарьян) . . . . .	262
2. Рений (А. С. Фарамазян) . . . . .	276
3. Германий (А. И. Карапетян) . . . . .	290
4. Кадмий (Г. О. Пиджян, А. Г. Акопян) . . . . .	307
5. Индий и таллий (Г. О. Пиджян, А. Г. Акопян) . . . . .	310
6. Висмут (Г. О. Пиджян) . . . . .	312
7. Золото (Ш. О. Амирян) . . . . .	316
8. Серебро (В. О. Пароникян) . . . . .	329
9. Элементы платиновой группы (А. С. Фарамазян) . . . . .	347
10. Галлий (Г. О. Пиджян, А. Г. Акопян, Б. М. Меликсетян) . . . . .	356
11. Ниобий и тантал (И. Г. Магакьян, Б. М. Меликсетян) . . . . .	359
12. Бериллий (И. Г. Магакьян, Б. М. Меликсетян) . . . . .	362
13. Цирконий и гафний (И. Г. Магакьян, Б. М. Меликсетян) . . . . .	364
14. Редкие земли, торий и иттрий (И. Г. Магакьян, Б. М. Меликсетян) . . . . .	366
Заключение . . . . .	374
Литература . . . . .	377

РЕДКИЕ И БЛАГОРОДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ  
В РУДНЫХ ФОРМАЦИЯХ АРМЯНСКОЙ ССР

*Печатается по решению ученого совета  
Института геологических наук  
АН Армянской ССР*

Редактор издательства *С. М. Даниелян*  
Обложка *Ю. А. Аракеляна*  
Технич. редактор *М. А. Капелян*  
Корректор *И. Г. Апкарян*

ВФ 03775, Изд. 3791, РИСО 1243, Заказ 171, Тираж 1000.  
Сдано в производство 20/X 1971 г. Подписано к печати 14/IX 1972 г.

Печ. л. 24,75 + 6 вкл., изд. 23,3 л. Бумага № 1  
60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Цена 2 р. 57 к.

---

Типография Издательства Академии наук Армянской ССР,  
г. Ереван, ул. Барекамутян, 24.