Известия АН Армянской ССР, Науки о Земле, 5—6, 81—95, 1967

Г. О. ПИДЖЯН

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЛЕНА И ТЕЛЛУРА В РУДАХ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АРМЯНСКОЙ ССР

Медно-молибденовые месторождения Армении приурочены к Памбак-Зангезурской тектоно-магматической зоне и располагаются, как правило, среди интрузивных пород гранитоидного состава (Каджаран, Агарак, Анкаван и др.), местами также в породах кровли—порфиритах (Дастакерт) и скарнах экзоконтакта (Анкаван, Кефашен и др.). Наряду с широко развитым прожилково-вкрапленным оруденением в рудных полях отдельных месторождений (Каджаран, Айгедзор) встречаются серии мощных кварцево-рудных жил, а также участки богатых брекчиевидных (Дастакерт) и скарновых медно-молибденовых руд.

В медно-молибденовых месторождениях отмечается прерывистость в рудоотложении и многостадийность рудообразующего процесса. Руды характеризуются большим многообразием минеральных видов и постоянным преобладанием халькопирита и молибденита при подчиненной роли пирита, борнита, сфалерита, галенита и других минералов.

Генетически медно-молибденовое оруденение тесно связано с гранитоидами верхнего эоцена — нижнего миоцена и в особенности с порфировидными гранодиоритами и гранитами третьей, самой молодой фазы внедрения, абсолютный возраст которых составляет 23—24 млн. лет (определен K-Ar методом в радиологической лаборатории ИГН АН Арм. ССР).

В результате проведенных минералого-геохимических исследований в рудах медно-молибденовых месторождений выявлены примеси весьма ценных редких элементов (рения, селена, теллура, висмута и др.) и выяснены вопросы их количественого распределения, а также условия концентрации и миграции. Среди отмеченных редких элементов одними из самых распространенных являются селен и теллур, которые по своим химическим свойствам, условиям нахождения в природе и геохимическому поведению в процессах гидротермального рудообразования имеют много общих черт, поэтому ниже рассматриваются совместно.

В рудах медно-молибденовых месторождений Армении (Каджаран, Агарак и др.) впервые селен и теллур были выявлены и изучены в 1956 г. И. Г. Магакьяном и Г. О. Пиджяном, которые выдвинули медно-молибденовую формацию руд, как наиболее интересную и перспективную в отношении концентрации селена и теллура. В дальнейшем в работе Н. Д. Синдеевой (1959) были освещены некоторые особенности поведения селена и теллура в рудообразующих минералах Каджарана, Агарака и Дастакерта. Детальные исследования по изучению особенностей геохи-

мии селена и теллура в рудах Каджарана проводили А. С. Фарамазян и Р. Н. Зарьян (1964).

Селен и теллур являются очень характерными примесями в рудах медно-молибденовых месторождений Армении и присутствуют даже в рядовых рудах в повышенных содержаниях. Весовые отношения между селеном и теллуром для различных медно-молбденовых месторождений колеблются в пределах от 0,5 : 1 до 3 : 1. Наиболее повышенными содержаниями селена и теллура характеризуются руды Каджарана.

В рудах медно-молибденовых месторождений селен присутствует только в виде изоморфной примеси в решетках главных рудообразующих минералов. По-видимому, высокая концентрация серы и низкие содержания селена не благоприятствуют образованию собственных минералов селена, поэтому последний рассеивается в различных сульфидах и сульфосолях, изоморфно замещая в них серу.

В природе селен очень тесно связан с серой, теллуром и мышьяком, что обсуловлено близостью геохимических и кристаллохимических свойств этих элементов. Из всех элементов наибольшее сродство селен образует с серой, чем и обусловливается его поведение в процессах гидротермального минералообразования. В зависимости от количества серы изменяется и концентрация селена. Эти два элемента обладают способностью изоморфно замещать друг друга, при этом экспериментальными работами доказано, что изоморфизм S^{2-} и Se^{2-} имеет весьма большой диапазон, а в отдельных системах (PbS—PbSe) имеет неограниченный характер.

В отличие от селена теллур в рудах изученных месторождений присутствует как в виде изоморфной примеси, так и в форме многочисленных собственных минералов: теллуровисмутита, тетрадимита, алтаита, гессита, петцита, самородного теллура, нагиагита, креннерита, калаверита, сильванита и жозеита (?).

До 1958 года теллуриды не были известны в рудах медно-молибденовых месторождений Армении. Впервые мельчайшие их выделения были установлены в Каджаране (А. С. Фарамазян, 1958), а в дальнейшем— более крупные выделения были обнаружены в Анкаване (А. И. Карапетян, 1961; Г. О. Пиджян). К настоящему времени почти во всех главнейших медно-молибденовых месторождениях обнаружены мельчайшие выделения минералов теллура. В рудах многих месторождений (Агарак, Дастакерт, Джиндара) теллуриды впервые обнаружены автором.

Для выявления минералов теллура важное значение имело применение более совершенных рудных микроскопов и других новейших методик диагностики минералов. На наш взгляд, в рудах изученных месторождений теллуриды более широко развиты, чем они сейчас известны. Кроме микроскопических выделений, по всей вероятности, минералы теллура также образуют дисперсно-тонкие вкрапленности в полях рудообразующих минералов, которые не обнаруживаются из-за низкой разрешающей способности применяемых микроскопов.

Теллуриды, главным образом, выделяются в конечных стадиях минерализации. Нередко их выделение начинается в средних стадиях и достигает своего максимума в полиметаллической (Каджаран) и в особенности медно-мышьяковой (Анкаван) стадиях минерализации.

Несмотря на то, что селен и теллур накапливаются в гидротермальных процессах большей частью в близких минеральных парагенезисах, они в то же время имеют ряд отличительных свойств в геохимическом поведении.

Теллур по своим кристаллохимическим свойствам довольно резко отличается от серы, чем и обусловлен весьма ограниченный изоморфизм между теллуром и серой. В сернистой среде при образовании сульфидов и сульфосолей имеющийся в растворах теллур неохотно, с трудом входит в их структуры и стремится к образованию самостоятельных минералов. Селен и теллур в природе не образуют изоморфных рядов и очень редко дают общие соединения (селенистый теллур). В отличие от селена теллур геохимически более тесно связан с золотом, висмутом, серебром и дает с ними многочисленные природные соединения, поэтому в золоторудных месторождениях Трансильванского типа (Нагиаг, Зод и др.) важное значение имеют теллур, висмут и небольшое—селен.

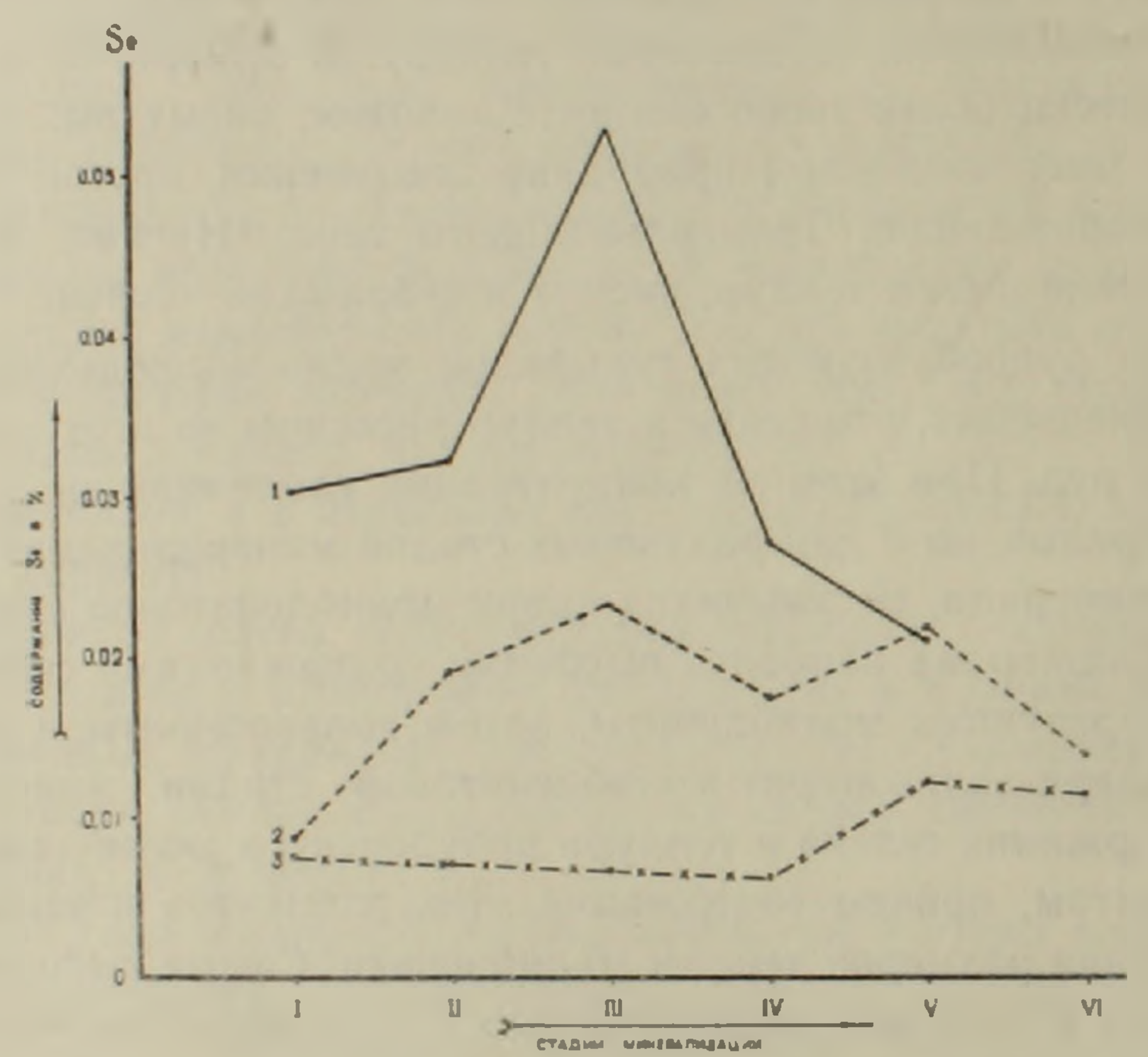
Изучение рудообразующих сульфидов медно-молибденовых месторождений показывает, что селен и теллур рассеяны во всех сульфидных компонентах руд. При этом их концентрации изменчивы не только для разных минералов, но и для различных стадий минерализации и генераций одного минерала. В сульфидах кварц-молибденитовой стадии минерализации Каджарана наиболее высокими содержаниями селена и теллура характеризуются молибдениты, затем халькопириты и пириты. В минералах кварц-халькопирит-молибденитовой стадии минерализации высокие содержания селена и теллура приурочены к молибденитам, а не к халькопиритам, причем содержания этих элементов повышаются по мере увеличения размеров чешуек молибденита. Самые высокие концентрации селена и теллура обнаруживаются в крупночешуйчатых разностях молибденитов этой стадии.

В рудообразующих сульфидах кварц-карбонат-полиметаллической стадии минерализации Каджарана содержание селена и теллура возрастает в следующем ряду: сфалерит-пирит-халькопирит-галенит. В главных рудообразующих сульфидах Агарака и Джиндары содержание селена увеличивается в ряду пирит-халькопирит-молибденит. Халькопириты Джиндары более богаты теллуром, чем молибдениты, что объясняется наличием в их полях мельчайших выделений теллуридов. В рудах Айгедзорского месторождения наиболее высокие содержания селена и теллура установлены в молибденитах.

В отличие от многих медно-молибденовых месторождений в Дастакерте сравнительно высокие содержания селена приурочены не к молибденитам, а к халькопиритам, а теллура—к пиритам. В минералах поли-

металлической стадии минерализации Дастакерта содержание селена и теллура увеличиватеся в ряду: сфалерит—халькопирит—пирит—галенит.

По данным А. С. Фарамазяна и Р. Н. Зарьяна (1964), содержание селена в халькопиритах Каджарана по мере развития гидротермальных процессов постепенно с понижением температуры образования повышается и достигает максимума в кварц-халькопирит-молибденитовую стадию минерализации, затем снова падает, а содержание теллура в отличие от селена постоянно возрастает от ранних генераций к поздним. По нашим исследованиям, содержание селена и теллура в халькопиритах Каджарана дает два максимума: селен—в кварц-халькопирит-молибденитовой и кварц-халькопиритовой стадиях минерализации, а теллур—в кварц-халькопирит-молибденитовой и кварц-сфалерит-галенитовой стадиях минерализации (фиг. 1 и 2).

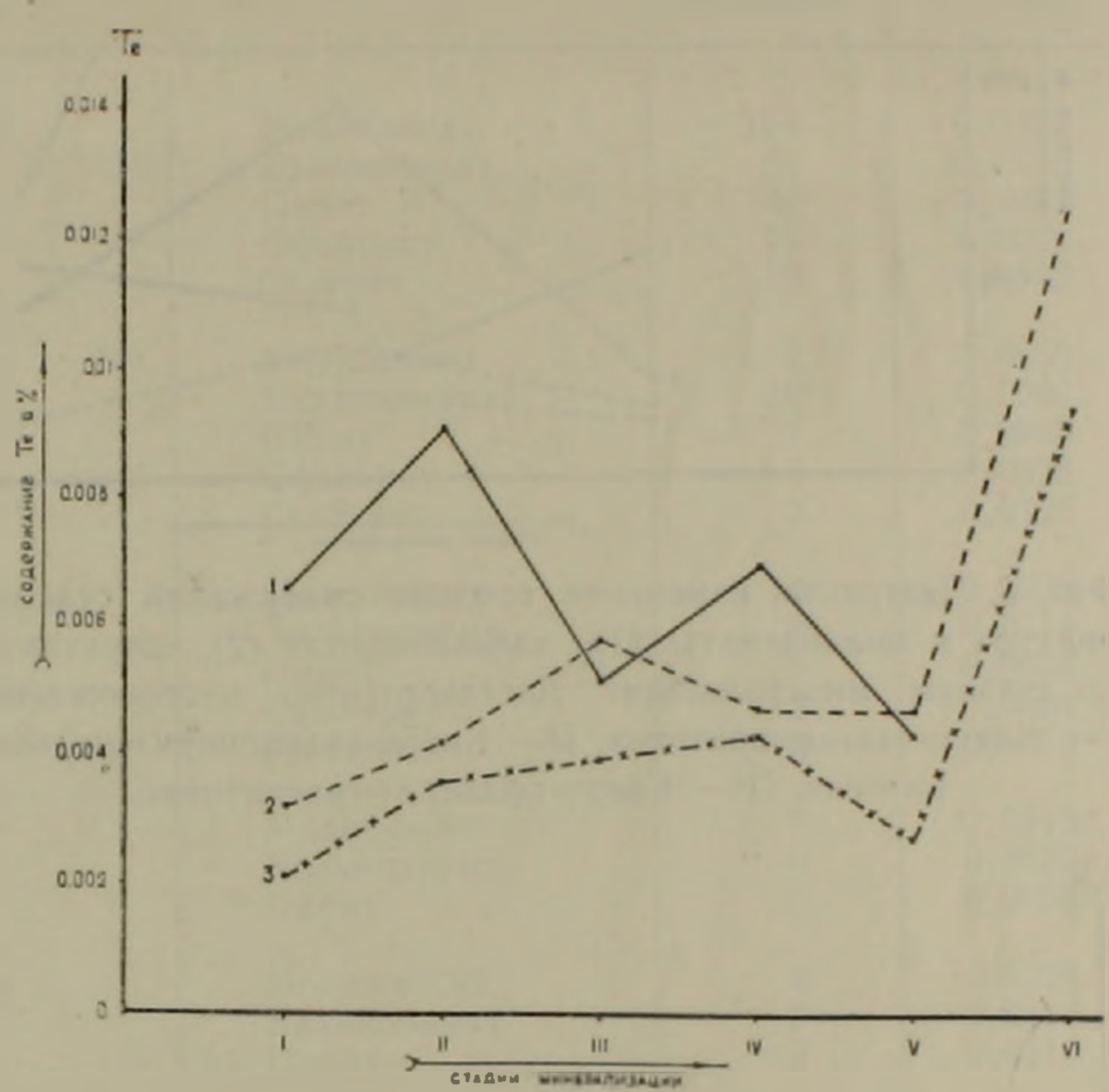


Фиг. 1. Диаграмма изменения средних содержаний селена и теллура в молибденитах (1), халькопиритах (2) и пиритах (3) по стадиям минерализации Каджаранского месторождения: I— Полевой шпат-кварц-магнетитовая, II— Кварц-молибденитовая, III — Кварц-халькопирит-молибденитовая, IV— Кварц-пиритовая, V— Кварц-халькопиритовая, VI— Кварц-карбонат-сфалерит-галенитовая

В отношении поведения селена в молибденитах Каджарана вывод А. С. Фарамазяна и Р. Н. Зарьяна полностью подтверждается: содержания селена в молибденитах по ходу развития гидротермальных процессов повышаются от высокотемпературных (ранних) стадий минерализации к среднетемпературным (средним), достигая максимума в кварц-халькопирит-молибденитовой стадии минерализации; в поздних стадиях понижаются. Содержание теллура в молибденитах дает два максимума:

в кварц-молибденитовой и кварц-пиритовой стадиях минерализации, поэтому вывод А. С. Фарамазяна и Р. Н. Зарьяна о том, что содержание теллура в молибденитах повышается с уменьшением температуры образования, не подтверждается.

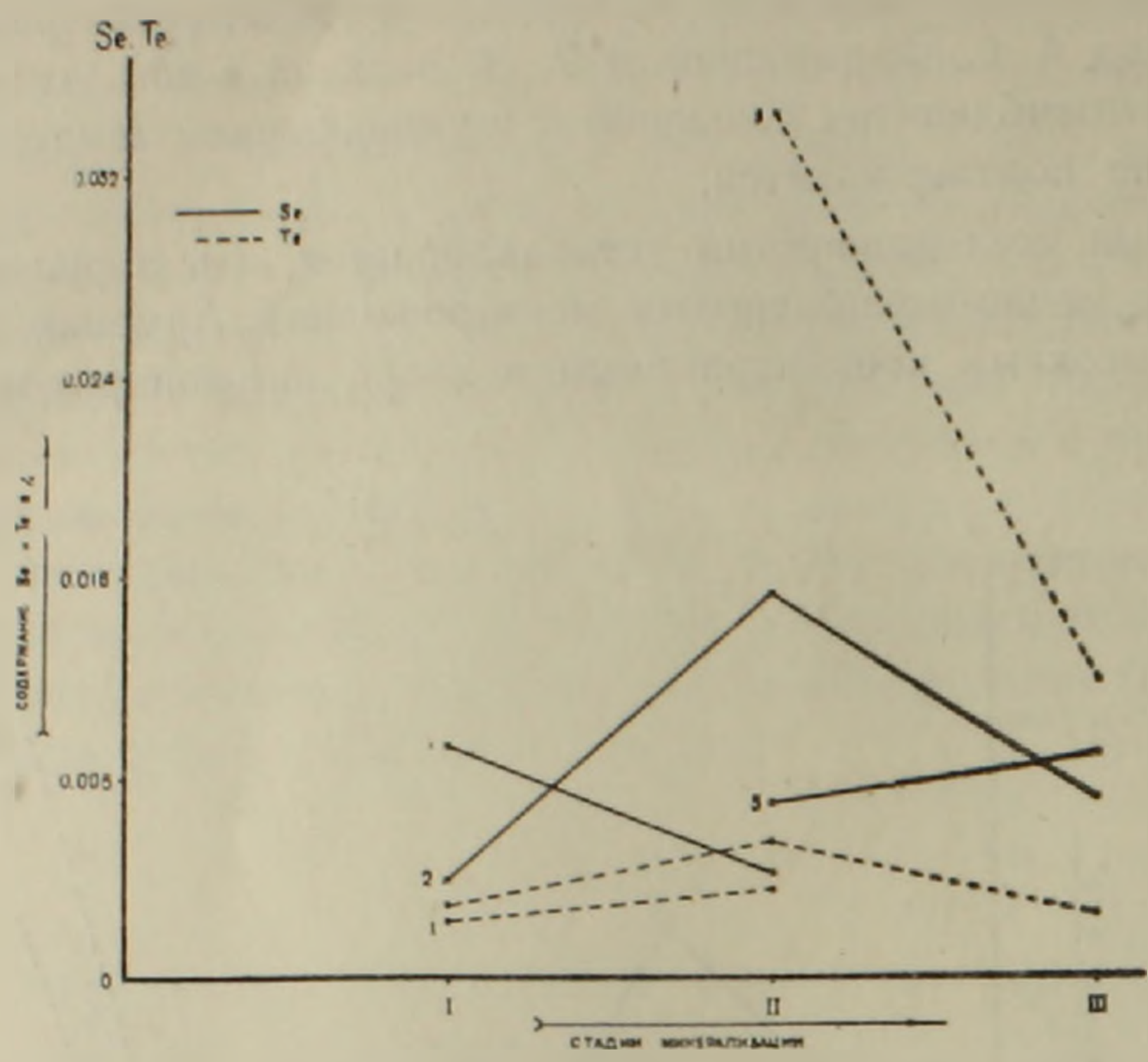
Нашими исследованиями устанавливается, что в рудообразующих сульфидах медно-молибденовых месторождений Армении селен представлен высокими концентрациями в кварц-халькопирит-молибденито-



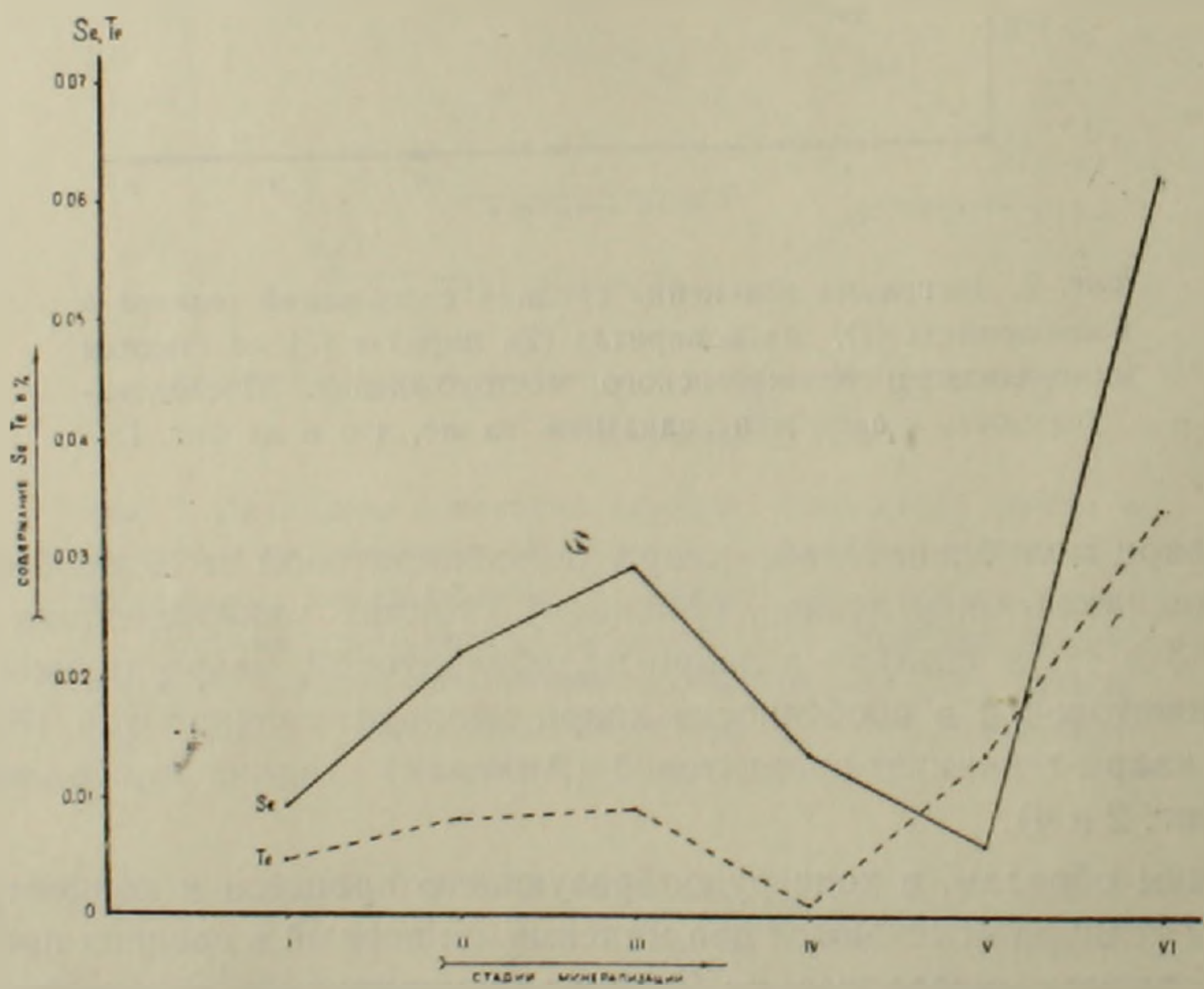
Фиг. 2. Диаграмма изменения средних содержаний теллура в молибденитах (1), халькопиритах (2), пиритах (3) по стадиям минерализации Каджаранского месторождения. Последовательность стадии минерализации та же, что и на фиг. 1.

вой, кварц-молибденитовой, кварц-халькопиритовой и в особенности кварц-теннантит-энаргитовой (Анкаван) стадиях минерализации (фиг. фиг. 1, 3 и 4), а теллур—в кварц-молибденитовой, кварц-халькопирит-молибденитовой и в особенности кварц-сфалерит-галенитовой (Каджаран) и кварц-теннантит-энаргитовой (Анкаван) стадиях минерализации (фиг. фиг. 2 и 4).

Таким образом, в ходе рудообразующего процесса в концентрации селена и теллура отмечаются два максимума: первый в средних промышленных стадиях минерализации (кварц-халькопирит-молибденитовой, отчасти кварц-молибденитовой, кварц-халькопиритовой) и второй—в поздних стадиях минерализации (кварц-сфалерит-галенитовой и в особенности кварц-теннантит-энаргитовой).



Фиг. 3. Диаграмма изменения средних содержаний селена и теллура в молибденитах (1), халькопиритах (2), пиритах (3) по стадиям минерализации Дастакертского месторождения. I— Кварц-халькопиритовая, II— Кварц-халькопирит-молибденитовая, III— Кварц-сфалерит-галенитовая.



Фиг. 4. Диаграмма изменения средних содержаний селена и теллура в рудных прожилках различных стадий минерализации Анкавана. I— Кварц-пиритовая; II— Кварц-молибденитовая; III— Кварц-халькопирит-молибденитовая; IV— Кварц-халькопиритовая; V— Кварц-сфалерит-галенитовая; VI— Кварц-халцедон-теннантит-энаргитовая.

В таблице 1 приведены средние содержания селена и теллура в главнейших рудообразующих сульфидах всех стадий минерализации и генераций изученных месторождений.

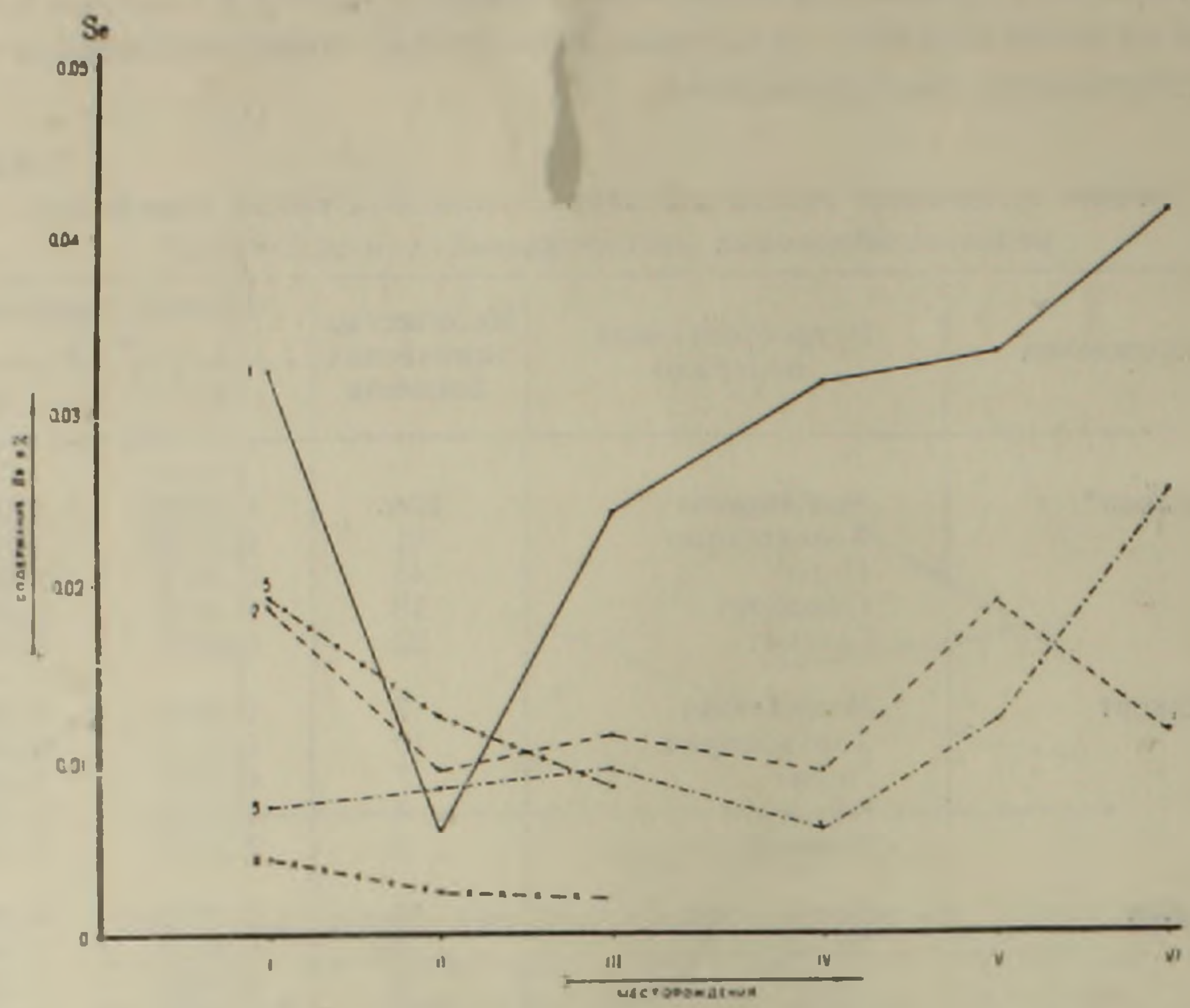
Таблица 1

Среднее содержание селена и теллура в рудообразующих сульфидах медно-молибденовых месторождений Армянской ССР

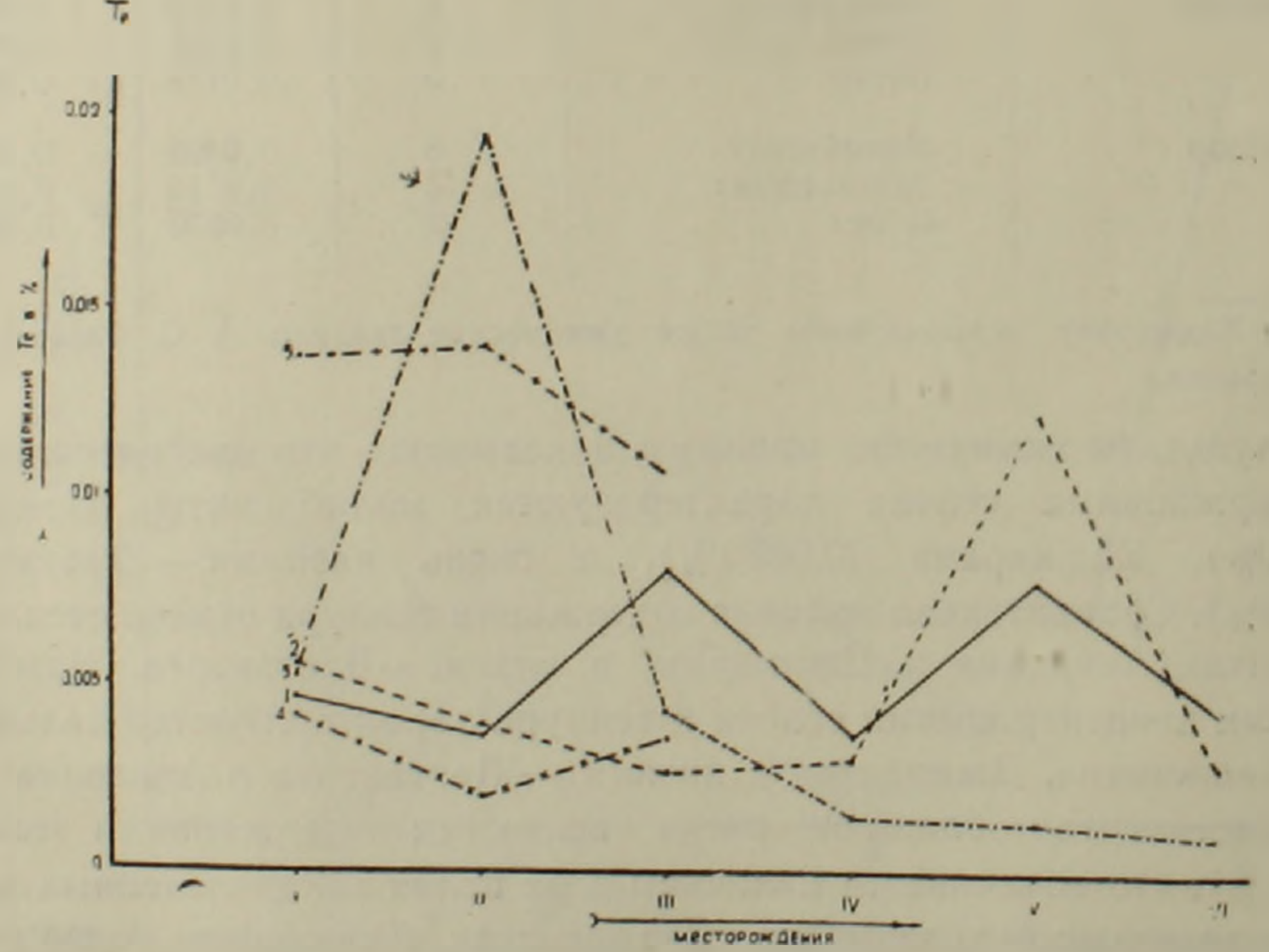
Месторождения	Рудообразующие минералы	Количество химических анализов	Среднее содержание в %	
			Se	Te
Каджаран*	Молибденит	104	0,0323	0,0046
	Халькопирит	81	0,0186	0,0054
	Пирит	45	0,0071	0,0053
	Сфалерит	18	0,0042	0,0043
	Галенит	22	0,0192	0,0136
Дастакерт	Молибденит	7	0,0056	0,0035
	Халькопирит	10	0,0093	0,0037
	Пирит	7	0,0083	0,0194
	Сфалерит	3	0,0026	0,0021
	Галенит	2	0,0120	0,0140
Анкаван	Молибденит	10	0,0237	0,0081
	Халькопирит	8	0,0114	0,0028
	Пирит	6	0,0096	0,0045
	Сфалерит	2	0,0024	0,0037
	Галенит	2	0,0083	0,0106
Агарак	Молибденит	7	0,0313	0,0037
	Халькопирит	6	0,0102	0,0032
	Пирит	3	0,0056	0,0016
Джиндара	Молибденит	4	0,0328	0,0076
	Халькопирит	7	0,0187	0,0121
	Пирит	3	0,0119	0,0015
Айгедзор	Молибденит	8	0,0408	0,0044
	Халькопирит	4	9,0115	0,0121
	Пирит	2	0,0250	0,0010

* По Каджарану использованы также химические анализы А. С. Фарамазяна и Р. Н. Зарьяна.

Результаты химических анализов показывают, что наиболее высокими содержаниями селена характеризуются молибдениты Айгедзора (0,0408%), Каджарана (0,0323%), а очень низкими — Дастакерта (0,0056%). Сравнительно высокие содержания теллура отмечаются в молибденитах Анкавана и Джиндары, а низкие—Дастакерта. Наиболее высокими концентрациями селена и теллура характеризуются халькопириты Каджарана, Джиндары, а низкими—Дастакерта и Анкавана. Пириты Дастакерта обладают очень высокими содержаниями теллура (0,0194%), что объясняется наличием в их полях многочисленных мельчайших выделений теллуридов. В галенитах Каджарана содержание селена и теллура более высокое, чем в галенитах Дастакерта и Анкавана, причем поздняя генерация галенита, связанная с теллуридами, резко обогащена селеном и теллуром.



Фиг. 5. 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.



Фиг. 6. Диаграмма изменения средних содержаний теллура в молибденитах (1), халькопиритах (2), пиритах (3), сфалеритах (4), галенитах (5). медно-молибденовых месторождений. I— Каржаран, II— Дастакерт, III— Анкаван, IV— Агарак, V— Джиндара, VI— Айгедзор.

На фиг. фиг. 5 и 6 показаны изменения средних содержаний селена и теллура в главнейших рудообразующих сульфидах медно-молибденовых месторождений Армении. Для большинства месторождений отмечается следующий возрастающий ряд по содержанию селена: сфалерит-пирит-халькопирит-галенит-молибденит. На каждом месторождении весьма различно проявляются теллуриды; в одних они преимущественно связаны с галенитом, в других с халькопиритом и пиритом, в связи с чем резко изменяется содержание теллура в сульфидах, поэтому на отдельных месторождениях отмечается различная последовательность расположения сульфидов по содержанию теллура.

В отдельных пробах молибденитов (Каджаран, Агарак), энаргитов, халькопиритов (Анкаван) и галенитов (Аткиз) обнаружены необычно высокие содержания селена от 0,09—0,12%. Очень высокие содержания теллура установлены в отдельных пробах пиритов Дастакерта (0,2%), галенитов Каджарана (0,18%), халькопиритов Джиндары (0,068—0,0810%), энрагитов Анкавана (0,0720%), халькопиритов Каджарана и Анкавана (0,0427—0,0600%) и молибденитов Каджарана (0,0580%).

С целью определения границ истинного содержания селена и теллура в главных рудообразующих сульфидах Каджарана нами методом математической вариационной статистики обработаны результаты химических анализов 104 молибденитов и 81 халькопирита, заимствованных у различных авторов (Г. О. Пиджян, А. С. Фарамазян, Р. Н. Зарьян).

Среднеарифметическое содержание селена в молибденитах, по данным 104 химических анализов составляет—$\overline{X}$—323 г/т. Результаты подсчетов показывают, что истинное среднее содержание (а) селена в молибденитах находится в пределах $323-41 \leqslant a \leqslant 323+41$.

Среднеарифметическое содержание селена в молибденитах, по данным 104 химических анализов, составляет—$\overline{X}$—46 г/т. Истинное среднее содержание теллура в молибденитах находится в пределах $46-13 \leqslant a \leqslant 46+13$.

Среднеарифметическое содержание селена в халькопиритах по данным 81 химического анализа составляет 186 г/т. Истинное среднее содержание селена в халькопиритах находится в пределах $186-16 \leqslant a \leqslant 186+13$.

Среднеарифметическое содержание теллура в халькопиритах по данным 81 химического анализа составляет 54 г/т. Истинное среднее содержание теллура в халькопиритах находится в пределах $54-17 \leqslant a \leqslant 54+17$.

Приведенные математико-статистические исследования позволяют с уверенностью использовать средние содержания селена и теллура в молибденитах и халькопиритах при подсчетах запасов этих элементов в рудах Каджарана. Так как теллур по сравнению с селеном имеет неравномерное распределение в молибденитах и халькопиритах, для более точного определения среднего содержания теллура в рудообразующих сульфидах и рудах потребуется большее число химических анализов, чем для определения среднего содержания селена.

Обогащенные селеном и теллуром минералы часто не определяют главную ценность руд в отношении указанных элементов. Очень важное значение имеет наряду с содержанием примесей количество минералоносителя редкого элемента в рудах. В медно-молибденовых месторождениях Армении несмотря на то, что наиболее высокими содержаниями селена и теллура характеризуются молибдениты, энаргиты, пириты, галениты, однако крупные концентрации селена и теллура в рудах связаны с медными минералами и, в первую очередь, с халькопиритом, количество которого в рудах во много раз больше, чем молибденита и в десятки-сотни раз больше, чем пирита, галенита и энаргита. Поэтому наибольший практический интерес в отношении селена и теллура представляют медные руды, образованные в кварц-халькопирит-молибденитовой и кварц-халькопиритовой стадиях минерализации.

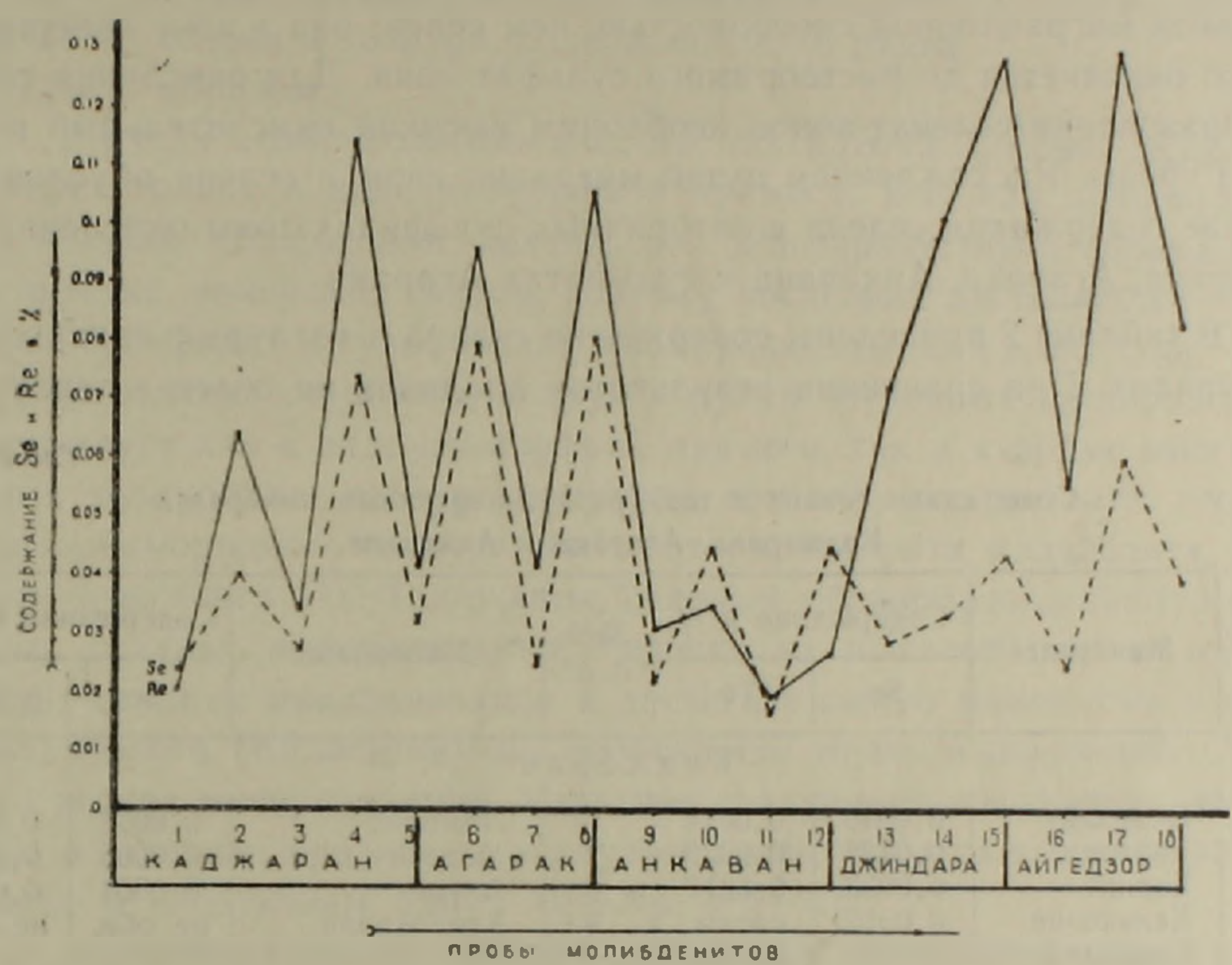
В медных рудах Каджарана и Агарака довольно отчетливо выражается геохимическое сродство между селеном-серой и селеном-медью. В некоторых рудообразующих сульфидах (халькопирит, борнит, галенит и др.) Каджарана, Агарака, Джиндары и в особенности Анкавана часто отмечается положительная корреляционная зависимость между содержаниями теллура, серебра, висмута, золота с одной стороны и селена— с другой. По-видимому, это обусловлено наличием в полях рудообразующих сульфидов мельчайших (микроскопических и субмикроскопических) включений собственных минералов теллура, серебра, висмута, золота, которые будучи более обогащенными селеном, в целом повышают его содержания в сульфидах.

В молибденитах медно-молибденовых месторождений Армении отмечается корреляционная зависимость между содержаниями рения и селена. К этому выводу впервые пришли в 1956 году И. Г. Магакьян и Г. О. Пиджян при изучении молибденитов Каджарана, Агарака и Анкавана. В дальнейшем о существовании в молибденитах связи между концентрациями рения и селена отмечается в работах: Н. А. Хрущова, Б. В. Кругловой и др. (1960), А. С. Фарамазяна (1960), К. А. Карамяна (1962) и др.

На основании многочисленных химических анализов молибденитов Каджарана В. К. Могаровский (1963) математическими расчетами подтвердил наличие корреляционной зависимости между содержаниями рения и селена. По данным Р. Н. Зарьяна (на основании обработки 109 химических анализов) коэффициент корреляции между рением и селеном в молибденитах Каджарана составляет +0,92 с уравнением регрессии: $Se = 0{,}55Re + 0{,}0125$, а $Re = 1{,}24Se - 0{,}0035$.

В отличие от других медно-молибденовых месторождений, в молибденитах Дастакерта не отмечается корреляционной зависимости между содержаниями рения и селена. Во многих пробах молибденитов, где имеются довольно высокие концентрации рения, не обнаружен селен. Кроме того, часто содержания селена дают колебания в больших пределах и никак не согласуются с концентрациями рения.

На фиг. 7 показана зависимость содержания селена от содержаний рения в молибденитах изученных месторождений. С увеличением концентрации рения повышаются и содержания селена, при этом в молибденитах Каджарана, Агарака и Анкавана содержания рения и селена примерно равные, поэтому отношение средних содержаний Re : Se соответственно составляют 0,92 : 1, 1,2 : 1, 1,03 : 1, а в Айгедзоре и Джиндаре— 2,6 : 1 и 3 : 1, т. е. рения почти в 3 раза больше, чем селена.



Фиг. 7. Корреляционная зависимость между содержаниями рения и селена в молибденитах Каджарана, Агарака, Анкавана, Джиндары и Айгедзора

Вышеприведенный материал показывает, что в гидротермальном этапе рудообразования селен все время находится вместе с серой; следует за ним как спутник и при кристаллизации сульфидов входит в их решетки, изоморфно замещая ионы серы различной валентности. Изоморфизм серы и селена общепризнан и доказан многочисленными экспериментальными работами, проведенными на системах PbS—PbSe (Earley, 1950; Coleman, 1959; Н. Д. Синдеева и А. А. Годовиков, 1959). Именно широким изоморфизмом серы и селена объясняется отсутствие селенидов в рудах медно-молибденовых месторождений Армении.

Изоморфизм между серой и теллуром, будучи весьма ограниченным, все-таки существует, так как сульфидные соединения обычно содержат теллур, хотя и в небольших количествах. Предположение В. В. Щербина (1937) о том, что при вхождении теллура в решетки сульфидов селен играет посредническую роль, на наш взгляд, имеет основание, ибо во всех слуьфидах изученных нами месторождений, наряду с селеном обнаруживается и теллур, который, по всей вероятности, следует за селеном и совместно с ним при благоприятных условиях замещает серу.

Изучение теллуридов показывает, что в медно-молибденовых месторождениях металлы по степени сродства с теллуром располагаются в возрастающем порядке в следующем ряду: Ag—Au—Pb—Bi.

Весовые отношения Se : Te для рядовых руд Каджарана составляют 2 : 1, для Агарака—2,7 : 1, а для руд Дастакерта—1,5 : 1.

В гипергенных условиях отмечается расхождение путей миграции и геохимического поведения серы, селена и теллура. Сера обладает более высокой миграционной способностью, чем селен; она в зоне гипергенеза легко окисляется до растворимого сульфат-иона. Для окисления селена и образования селенат-ионов необходим высокий окислительный потенциал среды. Расхождением путей миграции серы и селена обусловлены низкие содержания селена во вторичных сульфидах зоны окисления Каджарана, Агарака, Анкавана и сульфатах Агарака.

В таблице 2 приведены содержания селена и теллура в гипергенных минералах. При сравнении результатов анализов на селен и теллур гипергенных минералов (табл. 2) с гипогенными сульфидами (табл. 1) наблюдаем довольно резкое понижение содержания теллура и в особенности селена в минералах зоны окисления. В зоне гипергенеза теллур по сравнению с серой и селеном наименее подвижен, поэтому при окислении руд освобождающийся из сульфидов теллур остается в пределах зоны окисления, нередко образуя гипергенные минералы теллура (монтанит и др.).

Таблица 2

Содержание селена и теллура в гипергенных минералах Каджарана, Агарака и Анкавана

№№ п.п.	Минералы	Содержание в %		№№ п. п.	Минералы	Содержание в %	
		Se	Te			Se	Te
			Каджаран*				
1	Повеллит	0,0049	0,0014	6	Лимонит	0,0008	0,0001
2	Ярозит	0,0125	0,0020	7	Малахит	0,0005	0,0004
3	Борнит	0,0033	0,0017	8	Азурит	0,0004	0,0006
4	Халькозин	0,0016	следы	9	Хризоколла	не обн.	не обн.
5	Ковеллин	0,0012	следы				
			Агарак				
1	Малахит	0,0020	0,0055	4	Лимонит	0,0010	0,0030
2	Азурит	0,0007	0,0060	5	Борнит с халькозином	0,0022	0,0006
3	Гипс	0,0010	0,0030				
			Анкаван				
1	Малахит	0,0008	0,0912	3	Лимонит	0,0009	0,0005
2	Азурит	0,0003	0,0007	4	Халькозин с халькопиритом	0,0140	0,0090

* По Каджарану анализы заимствованы из работы А. С. Фарамазяна и Р. Н. Зарьяна (1964). Для повеллита и лимонита приведены средние содержания по 3 анализам, а для ярозита— среднее из 2 анализов.

Весовые отношения селена к теллуру для окисленных руд Каджарана составляют 1 : 1, а для Агарака—2 : 1.

В рудах медно-молибденовых месторождений Армении селен и теллур имеют определенный промышленный интерес как попутный компонент. При процессах флотации руд селен и теллур накапливаются в медных и молибденовых концентратах. Наибольший практический интерес в отношении селена и теллура представляют медные концентраты. В молибденовых концентратах содержание селена и теллура более высокое, однако они в количественном отношении резко уступают медным концентратам и на них приходится лишь небольшая часть (5—10%) общего количества селена и теллура, содержащихся в рудах.

Таким образом:

1. В рудах медно-молибденовых месторождений Армении селен присутствует только в виде изоморфной примеси. Высокая концентрация серы и низкие содержания селена не благоприятствуют образованию собственных минералов селена, поэтому последний рассеивается в различных сульфидах и сульфосолях, изоморфно замещая в них серу.

2. В отличие от селена, теллур в рудах изученных месторождений присутствует как в виде изоморфной примеси, так и в форме многочисленных теллуридов: теллуровисмутита, тетрадимита, алтаита, гессита, петцита, самородного теллура, нагиагита, креннерита, калаверита, сильванита и жозеита (?). Теллуриды, главным образом, выделяются в конечных стадиях минерализации; нередко их выделение начинается в средних стадиях минерализации и достигает своего максимума в полиметаллической (Каджаран) и в особенности медно-мышьяковой (Анкаван) стадиях минерализации. Изучение теллуридов показывает, что металлы по степени сродства с теллуром располагаются в возрастающем порядке в следующем ряду: Ag—Au—Pb—Bi.

3. Изучение рудообразующих сульфидов показывает, что селен и теллур рассеяны во всех сульфидных компонентах руд. При этом их концентрации изменчивы не только для разных минералов, но и для различных стадий минерализации и генераций одного минерала. В главнейших рудообразующих сульфидах большинства месторождений отмечается следующий возрастающий ряд по содержанию селена: сфалерит-пирит-халькопирит-галенит-молибденит. Теллуриды весьма различно проявляются в рудах отдельных месторождений; в одних они преимущественно связаны с галенитом, в других—халькопиритом и пиритом, поэтому на каждом месторождении отмечается различная последовательность расположения сульфидов по содержанию теллура.

4. В ходе рудообразующего процесса в концентрации селена и теллура отмечаются два максимума: первый в средних промышленных стадиях минерализации (кварц-халькопирит-молибденитовой, отчасти кварц-молибденитовой, кварц-халькопиритовой) и второй—в поздних стадиях минерализации (кварц-сфалерит-галенитовой и в особенности кварц-теннантит-энаргитовой).

5. В молибденитах изученных месторождений отмечается корреляционная зависимость между содержаниями рения и селена. При этом в молибденитах Каджарана, Агарака и Анкавана отношение средних со-

держаний Re : Se составляет примерно 1 : 1, а в Айгедзоре и Джиндаре—3 : 1.

6. В гипергенных условиях наблюдается расхождение путей миграции и геохимического поведения серы, селена и теллура, поэтому отмечается резкое понижение содержания теллура и в особенности селена в минералах зоны окисления изученных месторождений.

7. Селен и теллур являются весьма характерными и ценными примесями в рудах, поэтому необходимо поставить вопрос о принятии неотложных мер по организации извлечения указанных редких металлов из медных и молибденовых концентратов медно-молибденовых месторождений Армении и, в первую очередь, Каджарана, Агарака и Дастакерта.

Институт геологических наук
АН Арм. ССР

Поступила 14.VII.1967

Գ. Հ. ՓԻՋՅԱՆ

ՍԵԼԵՆԻ ԵՎ ԹԵԼՈՒՐԻ ՏԵՂԱԲԱՇԽՄԱՆ ՕՐԻՆԱՉԱՓՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ՀԱՍԱ ՊՂԻՆՁ-ՄՈԼԻԲԴԵՆԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԵՐՈՒՄ

Ամփոփում

Հայաստանի պղինձ-մոլիբդենային հանքանյութերում սելենը գտնվում է միմիայն իզոմորֆ խառնուրդի ձևով։ Հիդրոթերմալ լուծույթներում ծծմբի բարձր և սելենի ցածր պարունակությունները չեն ստեղծում բարենպաստ պայմաններ սելենի սեփական միներալների առաջացման համար, այդ պատճառով վերջինս ցրվում է տարբեր սուլֆիդներում և սուլֆոաղերում, տեղակալելով նրանց մեջ ծծմբին։ Հանքանյութերում թելուրը առկա է ինչպես իզոմորֆ խառնուրդի ձևով, այնպես էլ բազմաթիվ ինքնուրույն միներալներով — թելուրիդներով (թելուրովիսմուտիտ, տետրադիմիտ, ալթաիտ և այլն), որոնք մեծ մասամբ անջատվել են միներալիզացիայի ուշ ստադիաներում։ Որոշ հանքավայրերում թելուրիդների անջատումը սկսվում է միներալիզացիայի միջին ստադիաներում և հասնում է իր մաքսիմումին բազմամետաղային (Քաջարան) և հատկապես պղինձ-մկնդեղային (Հանքավան) միներալիզացիայի ստադիաներում։

Հանքառաջացնող սուլֆիդների ուսումնասիրությունը ցույց է տալիս, որ սելենի և թելուրի պարունակությունները փոխվում են ոչ միայն տարբեր միներալներում, այլև տարբեր միներալիզացիայի ստադիաներում առաջացած նույն միներալում և նրա առանձին գեներացիաներում։ Գլխավոր հանքառաջացնող սուլֆիդներն, ըստ սելենի պարունակության աճի, դասավորվում են հետևյալ կերպ՝ սֆալերիտ-պիրիտ-խալկոպիրիտ-գալենիտ-մոլիբդենիտ։

Հանքառաջացման պրոցեսում նկատվում է սելենի և թելուրի կուտակումների երկու մաքսիմում։ Առաջինը՝ միներալիզացիայի միջին արդյունաբերական ստադիաներում (քվարց-խալկոպիրիտ-մոլիբդենիտային, մասամբ քվարց-մոլիբդենիտային, քվարց-խալկոպիրիտային) և երկրորդը՝ միներալիզացիայի

ուշ ստադիաներում (քվարց-սֆալերիտ-գալենիտային և հատկապես քվարց-տենենտիտ-էնարգիտային)։

Մոլիբդենիտներում նկատվում է կորելացիոն կապակցության ռենիումի և սելենի պարունակությունների միջև, ըստ որում Քաջարանի, Ագարակի և Հանքավանի մոլիբդենիտներում ռենիումի և սելենի միջին պարունակությունների հարաբերությունը կազմում է 1։1, իսկ Այդեձորի և Ջինդարայի մոլիբդենիտներում այդ հարաբերակցությունը հավասար է 3։1։

Հիպերգեն պայմաններում ծծմբի, սելենի և թելուրի գեոքիմիական վարքը տարբեր է. այդ պատճառով օքսիդացած հանքանյութերում և միներալներում նկատվում է թելուրի և հատկապես սելենի պարունակությունների կտրուկ իջեցում։

Հայաստանի պղինձ-մոլիբդենային հանքանյութերում սելենը և թելուրը հանդիսանում են շատ բնորոշ և արժեքավոր խառնուրդներ, այդ պատճառով անհրաժեշտ է միջոցներ ձեռնարկել և կազմակերպել այդ հազվագյուտ մետաղների կորզումը պղնձային և մոլիբդենային կոնցենտրատներից, առաջին հերթին՝ Քաջարանի, Ագարակի և Դաստակերտի հանքավայրերից։

ЛИТЕРАТУРА

Бетехтин А. Г. О влиянии режима серы и кислорода на парагенетические соотношения минералов в рудах. Изв. АН СССР, серия геол., № 3, 1949.

Карамян К. А. О корреляции рения, селена и теллура в молибденитах Каджаранского медно-молибденового месторождения. Геохимия, № 2, 1962.

Карапетян А. И. Теллуриды в рудах Анкаванского месторождения. Изв. АН Арм. ССР, серия геол., № 6, 1961.

Магакьян И. Г., Мкртчян С. С., Пиджян Г. О. Условия образования и размещения медно-молибденовых порфировых месторождений Армянской ССР. Закономерности мдено-молибденового месторождения, Геохимия, № 2, 1962.

Магаровский В. К. О связи рения и селена в молибденитах Каджаранского месторождения. Изв. АН Арм. ССР, серия геол., № 6, 1958.

Пиджян Г. О. К минералогии руд Каджаранского медно-молибденового месторождения. Изв. АН Арм. ССР ,серия геол., № 4, 1958.

Пиджян Г. О. К минералогии руд Каджаранского медно-молибденового месторождения Изв. АН Арм. ССР, серия геол., № 2, 1960.

Радионов Д. А. Функции распределения содержаний элементов и минералов в изверженных горных породах. Изд. «Наука», 1964.

Синдеева Н. Д. Минералогия, типы месторождений и основные черты геохимии селена и теллура. Изд. АН СССР, 1959.

Синдеева Н. Д., Годовиков А. А. Об изоморфизме между серой и теллуром в галените. ДАН СССР, № 2, 1959.

Фарамазян А. С., Зарьян Р. Н. Особенности геохимии селена и теллура в рудах Каджаранского рудного поля. Геохимия, № 11, 1964.

Хрущев Н. А., Круглова В. Г. и др. Распределение рения, селена и теллура в молибденовых месторождениях Советского Союза. Сб. «Минеральное сырье», вып. 1. 1960.

Щербина В. В. Основные черты геохимии теллура. Изв. АН СССР, № 5, 1937.

Ahrens L. N.— The lognormal distribution of the elements. Geochim. et cosmochim acta № 2, 1954.

Coleman R. G.— The natural occurence of galenaclaustallte solidsolution ofries. Amer. Minerologist № 1--2, 1959.

Earley J. W.— Discription and sinthesis of the selenide minerals. Amer. Mineralogist № 5—6, 1950.