

М. А. КУКУЛЯН

СКРЫТАЯ МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ОРУДЕНЕНИЯ НА МАРДЖАНСКОМ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Рассматривается скрытая минералого-геохимическая зональность рудных тел Марджанского полиметаллического месторождения, обусловленная закономерным изменением химического состава блеклых руд.

Распределение руд, а также некоторых слагающих ее минералов в рудных телах на месторождениях различных генетических типов, как правило, подчиняется определенной закономерности. Последнее обуславливается зональным изменением состава по падению и простиранию жил. В зависимости от генетического типа, по терминологии В. И. Смирнова [9], зональность может относиться либо к стадийной (первого рода), либо к фациальной (второго рода). Зональность может проявиться как в виде закономерного пространственного распределения основных рудообразующих минералов, так и в слагающих их компонентах [2, 5, 6, 7]. Большое значение придается геохимической зональности внутри контуров рудных тел, где часто выявляются закономерности в пространственном распределении полезных компонентов руд. В настоящей работе автором рассматривается фациальная зональность.

Марджанское полиметаллическое месторождение локализовано в верхах капутджухской, низах гехакарской свит и объединяет ряд кварц-полиметаллических жил преимущественно северо-западного простирания. По составу рудные тела месторождения представляют собой типичный кварц-полиметаллический тип оруденения. В различной степени здесь развиты пирит, галенит, сфалерит, блеклые руды, бурнонит и др. Оруденение на месторождении формировалось в течение двух этапов: раннего полиметаллического и позднего реальгар-аурипигментового. Продуктивным является первый полиметаллический этап, в пределах которого выделяются 7 стадий минерализации: 1) кварц-пиритовая, 2) кварц-пирит-сфалеритовая, 3) кварц-сфалерит-галенитовая, 4) сульфосолевая, 5) кварц-карбонатная, 6) антимонитовая и 7) баритовая.

Проведенное изучение изменений содержаний минералообразующих компонентов блеклых руд в пределах Марджанского полиметаллического месторождения позволило установить некоторые закономерности их распределения в пространстве. Закономерные изменения химического состава блеклых руд в пространстве и во времени известны для многих месторождений мира [5, 6, 7]. По данным Н. Н. Мозговой и А. И. Цепина [6], рассматривавших некоторые месторождения, зональность, выявляемая по изменениям химического состава блеклых руд, бывает двух типов: «1—на глубине или в центре месторождения или рудных тел развиваются мышьяковые блеклые руды, а ближе к поверхности и на флангах—сурьмяные; 2—на глубине или в центре месторождения или рудных тел представлены сурьмяные блеклые руды, а в верхних частях и по периферии—мышьяковые» (с. 175).

Закономерность по блеклым рудам была установлена Н. И. Ереминым в рудах Гусяковского месторождения [4], а зональность, устанавливаемая по изменению состава дискретного минерала, либо его разновидностей в контурах однородного сульфидного тела без видимых признаков строения, была названа им «скрытой минералого-геохимической зональностью»—СМГЗ [10]. Несколько позже дальнейшее изучение СМГЗ позволило Н. И. Еремину [2] выявить в ней четыре порядка: зональность первого порядка «соответствует законо-

мерному изменению состава минерала, наблюдаемому в определенном направлении для тела» (с. 250); зональность второго порядка «отражает закономерное пространственное изменение состава минерала в определенном интервале, выполненном рудами одного типа» (с. 253); третьего порядка—отражает зональность текстур и, наконец, четвертого порядка проявляется в зональном строении минеральных индивидов.

Для выявления изменения химического состава блеклых руд, выделившихся в пределах одной, кварц-сфалерит-галенитовой стадии, нами проводились детальные исследования рудных тел, вскрытых горными выработками¹. С этой целью было изучено около 140 полированных шлифов и проведено более 90 электронно-зондовых точечных анализов, на основании которых удалось обнаружить некоторые закономерности в распределении блеклых руд на месторождении. Методичное минераграфическое и электронно-зондовое изучение этих минералов с последующей статистической обработкой полученных результатов позволяет говорить как минимум о двух порядках выявленной скрытой минералого-геохимической зональности.

Зональность самого низкого, четвертого порядка обусловлена закономерным изменением химического состава блеклых руд от центра монозерна к его периферии. Впервые такое явление наблюдалось в монозернах серебряно-свинцовых месторождений Якутии [2], а концентрически зональная структура одного кристалла блеклой руды Дарасунского месторождения была описана Ю. С. Бородаевым [11].

Аналогичная зональность в монозернах блеклой руды Марджанского месторождения хорошо наблюдается на экране электронно-лучевой трубки в виде неоднородности состава отдельных зерен, проявляющейся в изменении содержаний сурьмы и мышьяка. В центре монозерен отмечаются более сурьмянистые разности, а к перифериям—мышьяковые. Степень сурьмянистости определялась нами по номеру блеклой руды [8]:

$$\text{№ блеклой руды} = \frac{\text{атомное количество Sb}}{\text{атомное количество (As + Sb)}} \times 100.$$

Зональность монозерен блеклой руды имеет часто пятнисто-мозаичную структуру и является, по-видимому, направлением роста кристалла. Сами зоны, количество которых не превышает, как правило, 4-х, сильно отличаются друг от друга по размерам, а часто наблюдаемые нами малые размеры последних затрудняют качественное определение их состава. Однако необходимо отметить, что и в этих случаях подтверждается общая тенденция уменьшения сурьмянистости и увеличения мышьяковистости зон. Такой тип зональности носит название неповторяющейся и описан Н. И. Ереминым [4]. Номер блеклой руды в пределах всех отмеченных зон варьирует в широких пределах и лежит в интервале от 92 до 2, т. е. от почти чистых тетраэдритов до теннантитов. Однако в конкретных зернах диапазон вариации блеклой руды уменьшается и, как правило, находится в пределах интервала сурьмянистости данной части рудного тела.

В наблюдаемых зональных монозернах блеклых руд между медью, с одной стороны, серебром и кадмием—с другой, наблюдается обратная корреляционная связь, связанная с замещением меди серебром и кадмием. Между Sb и Ag отмечается прямая корреляция, иными словами сурьмянистый центр зерна, как правило, бывает обогащен серебром, содержание которого к периферии падает.

Зональность монозерен блеклых руд наблюдалась нами исключительно в пределах первого и второго рудного тела.

¹ Закономерности изменения химического состава блеклых руд, выделившихся в кварц-сфалеритовую стадию минерализации, выявить не удалось в связи с их ограниченным распространением в рудах месторождения.

Зональность первого порядка выявлена нами на обоих горизонтах во всех рудных телах, вскрытых в штольнях. Она обусловлена закономерным изменением сурьмянистости по простиранию кварц-полиметаллических жил. Для выявления этой зональности все полученные анализы были объединены в точки наблюдения, которые представляют собой среднее содержание всех компонентов, слагающих минерал на конкретном интервале опробования кварцево-рудной жилы.

По всем точкам наблюдений по двум переменным Sb и As был построен дендрограф, на котором выделялись две группы блеклых руд, отличающихся друг от друга: первая группа объединила в себе мышьяковые разности, вторая—сурьмяные. Средняя сурьмянистость блеклой руды, определяемая по номеру, для первой группы равна 27, а для второй—79. Изучение распределения точек наблюдений в пространстве по рудным телам позволило выявить повторяющуюся зональность по кварц-полиметаллическим жилам № 1 и 4 на горизонте 2370 м. Здесь для обоих рудных тел южные фланги жил оказались мышьяковыми, центральные части—сурьмяными и северный—снова мышьяковым (последний выявлен только для рудного тела № 1). Таким образом эти зоны были установлены по номеру блеклой руды, а использование кластерного анализа позволило статистически правильно сгруппировать их и тем самым выявить различие зон. Для южной мышьяковой зоны рудных тел 1 и 4 средний номер блеклой руды равен соответственно 28 и 24, центральная сурьмяная зона характеризуется соответственно 83 и 80 и, наконец, средний номер блеклой руды для северной мышьяковой зоны рудного тела 1 равен 49. Отсутствие северной мышьяковой зоны в рудном теле 4 связано, видимо, с тем, что рудное тело вскрыто штольней неполностью.

На горизонте 2250 м в рудных телах 1 и 6 на основании того же дендрографа нами выявлены две зоны, аналогичные зонам верхнего горизонта: южная—мышьяковая и центральная—сурьмяная. Северная зона здесь не установлена по причине недостаточного вскрытия рудных тел на этом горизонте, а южная—выявлена только в рудном теле № 6. средний номер блеклой руды которой равен 28. Центральная сурьмяная зона рудного тела 6 характеризуется средним номером блеклой руды, равным 78, а рудного тела 1—80. Такой тип зональности носит название неповторяющейся.

Рассмотренная нами скрытая минералого-геохимическая зональность является отражением изменения сурьмянистости блеклой руды, т. е. ее номера по простиранию рудных тел. Однако выявление зональности только по изменению соотношения Sb/As носит весьма обобщенный характер и затушевывает истинную закономерность распределения блеклых руд в пространстве.

В связи с этим нами были построены дендрографы, в которых число переменных постоянно менялось. Целью настоящего исследования ставилось выяснить, какие переменные наиболее сильно влияют на закономерное распределение точек наблюдения по группам, а также какой набор переменных наиболее объективно отражает закономерность распределения блеклых руд в пространстве. В качестве отправных нами были приняты вышеописанный дендрограф, построенный по переменным Sb и As, и дендрограф, построенный по всем минералообразующим компонентам. В процессе работы строились дендрографы по одно- и двухвалентным катионам, часто используемые совместно с переменными Sb и As. Анализ построенных дендрографов показал следующие результаты.

Группировка точек наблюдения по одно- и двухвалентным катионам выявила группы точек наблюдений, объединенные по введенным показателям. В эти группы попадали точки наблюдения, закономерно распределенные по простиранию рудных тел и иллюстрирующие изменение химического состава блеклых руд по введенным компонентам. По мере ввода в дендрограф дополнительных переменных полученные группы более полно отражали закономерности изме-

нения химического состава блеклых руд в их точках наблюдения, характеризующих определенный интервал кварц-полиметаллических жил. Наиболее сильно влияющими на пространственное распределение точек наблюдения на дендрографе, как и следовало ожидать, оказались сурьма и мышьяк. Сильное влияние также оказывают катионы Ag и Cd, изоморфно замещающие соответствующие по валентности катионы меди, что, по-видимому, связано с большими колебаниями в блеклых рудах содержания серебра и относительно большими—кадмия. Наиболее слабое влияние на распределение по группам точек наблюдения оказывают катионы Fe²⁺ и Zn²⁺, также изоморфно замещающие двухвалентную медь. Незначительное влияние этих катионов, с одной стороны, связано с небольшими колебаниями их содержания в блеклой руде, а с другой—замещением двухвалентного катиона меди цинком и в меньшей степени железом. В дендрографе, построенном по 7 переменным и таким образом объединяющем в себе все минералообразующие компоненты блеклых руд, при окончательном расчленении точек наблюдений было выделено 3 группы (рис 1). Однако необходимо отметить, что 2 переменные из 7 (двухвалентные катионы железа и цинка) настолько незначительно влияют на распределение точек наблюдения в дендрографе, что по используемому уровню кластеризации данные три группы были получены уже по одновалентным катионам вместе с сурьмой и мышьяком.

Выделившаяся на дендрографе первая группа характеризуется низкими содержаниями сурьмы, серебра, кадмия и высокими—меди,

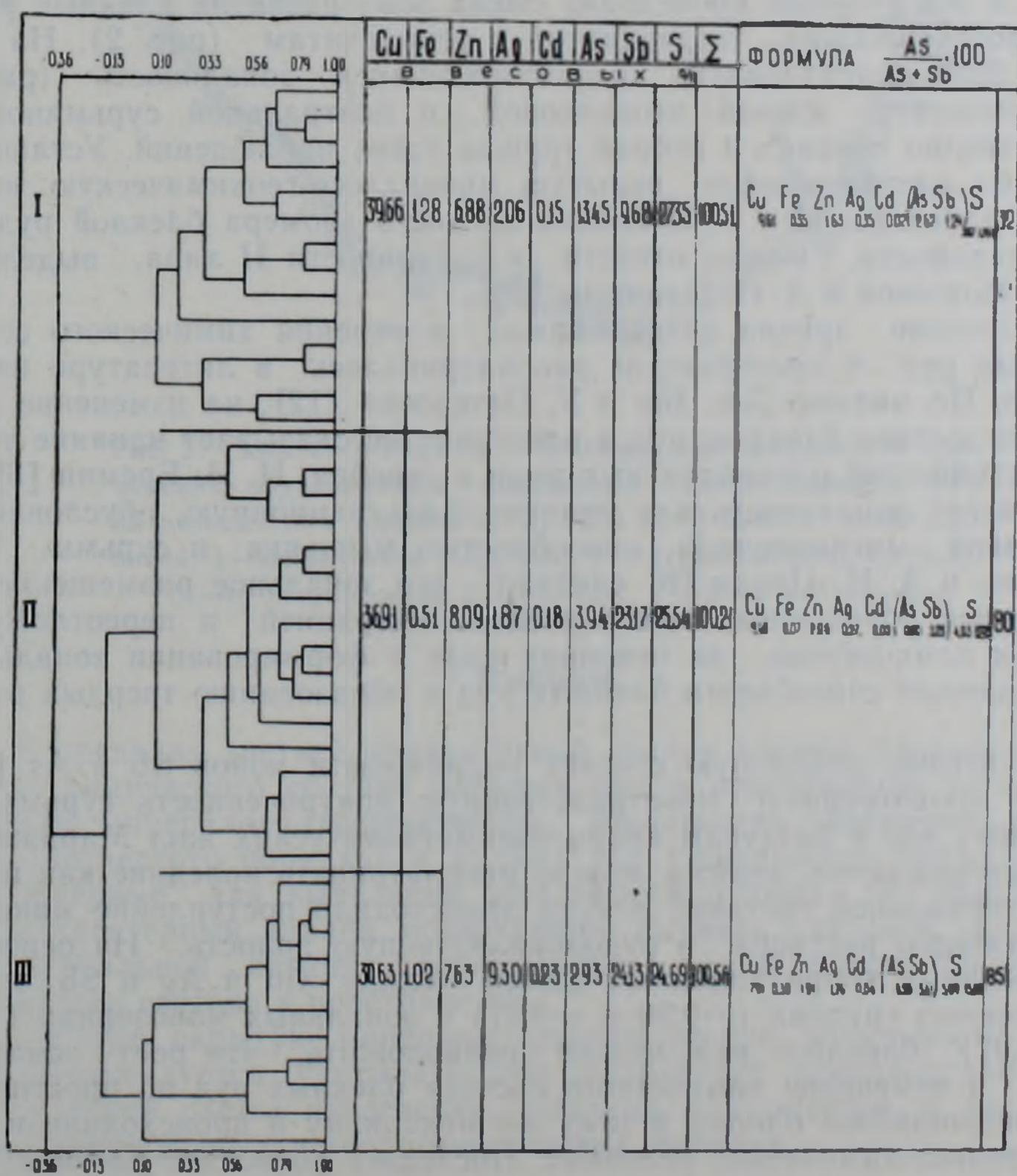


Рис. 1. Дендрографическая схема распределения точек наблюдений блеклых руд по группам

цинка и мышьяка и несколько повышенным—железа (рис 1). Средний номер блеклых руд этой группы равен 32, что указывает на мышьяковистость объединившихся разностей. На обоих горизонтах точки наблюдений этой группы характеризуют северные и южные фланги рудных жил, выделяя тем самым внешнюю мышьяковую зону.

Вторая группа, проявившаяся на дендрографе, объединяет блеклые руды с несколько пониженным содержанием меди и серебра и повышенными содержаниями цинка и кадмия. Соотношения сурьмы и мышьяка—здесь определяются номером средней блеклой руды, равным 80. Точки наблюдений, выделившиеся в эту группу на горизонте 2370 м, находятся в пережимах центральных частей рудных тел, а на горизонте 2250—в центральной части, независимо от их морфологии.

Точки наблюдения, объединившиеся в третью группу на дендрографе и расположенные в раздувах рудных тел, характеризуются пониженными содержаниями меди, резко возросшими содержаниями серебра и несколько повышенным на общем высоком фоне содержанием цинка. Номер средней блеклой руды для группы равен 85. Необходимо отметить, что все точки наблюдений рассматриваемой группы локализируются исключительно на горизонте 2370 м.

Таким образом, анализ полученного дендрографа и пространственного распределения точек наблюдений позволил выявить в рудных телах на месторождении скрытую минералого-геохимическую зональность первого порядка. На горизонте 2370 м в рудных телах 1 и 4 выявлена повторяющаяся зональность, центр которой соответствует раздувам кварц-полиметаллических жил. По мере удаления от раздувов в обе стороны происходит смена зон—развития блеклых руд от серебросодержащих тетраэдритов к теннантитам (рис. 2). На горизонте 2250 м установлена неповторяющаяся зональность (рис. 2), обусловленная южной мышьяковой и центральной сурьмяной—соответственно первая и вторая группы точек наблюдений. Установленную на месторождении скрытую минералого-геохимическую зональность, проявившуюся в изменении среднего номера блеклой руды, по всей видимости, можно отнести к зональности II типа, выделенной Н. Н. Мозговой и А. И. Цепиным [6].

Изучение причин закономерных изменений химического состава блеклых руд в пространстве рассматривалось в литературе неоднократно. По мнению Дж. Вю и У. Петерсона [12], на изменение химического состава блеклых руд в пространстве оказывает влияние эволюция активностей одновалентных меди и серебра. Н. И. Еремин [3] рассматривает зональность как типично фильтрационную, обусловленную различной миграционной способностью мышьяка и сурьмы. Н. Н. Мозгова и А. И. Цепин [6] считают, что зональное размещение этих минералов обусловлено геохимической миграцией и переотложением рудных компонентов, где основная роль в формировании зональности принадлежит способности блеклых руд к образованию твердых растворов.

Учитывая различную степень подвижности ионов Sb и As [4], а также закономерную пространственную приуроченность сурьмяно-серебряных зон к раздувам кварц-полиметаллических жил Марджанского месторождения, видимо, можно рассматривать поледние как центры гидротермальной системы, откуда происходило поступление минералообразующего раствора в рудолокализирующую полость. На основании аналогичных корреляционных связей между Cu и Ag и Sb и As в выделенных группах (—0,90 и —0,97) и зональных монозернах (—0,94 и —0,97) блеклых руд, можно предположить, что рост зональных зерен и изменение химического состава блеклых руд по простиранию жил подчинялись одному и тому же механизму и происходили в сходных физико-химических условиях. Последнее позволяет рассматривать направление изменения процесса как результат эволюции среды минералообразования в процессе фильтрации.

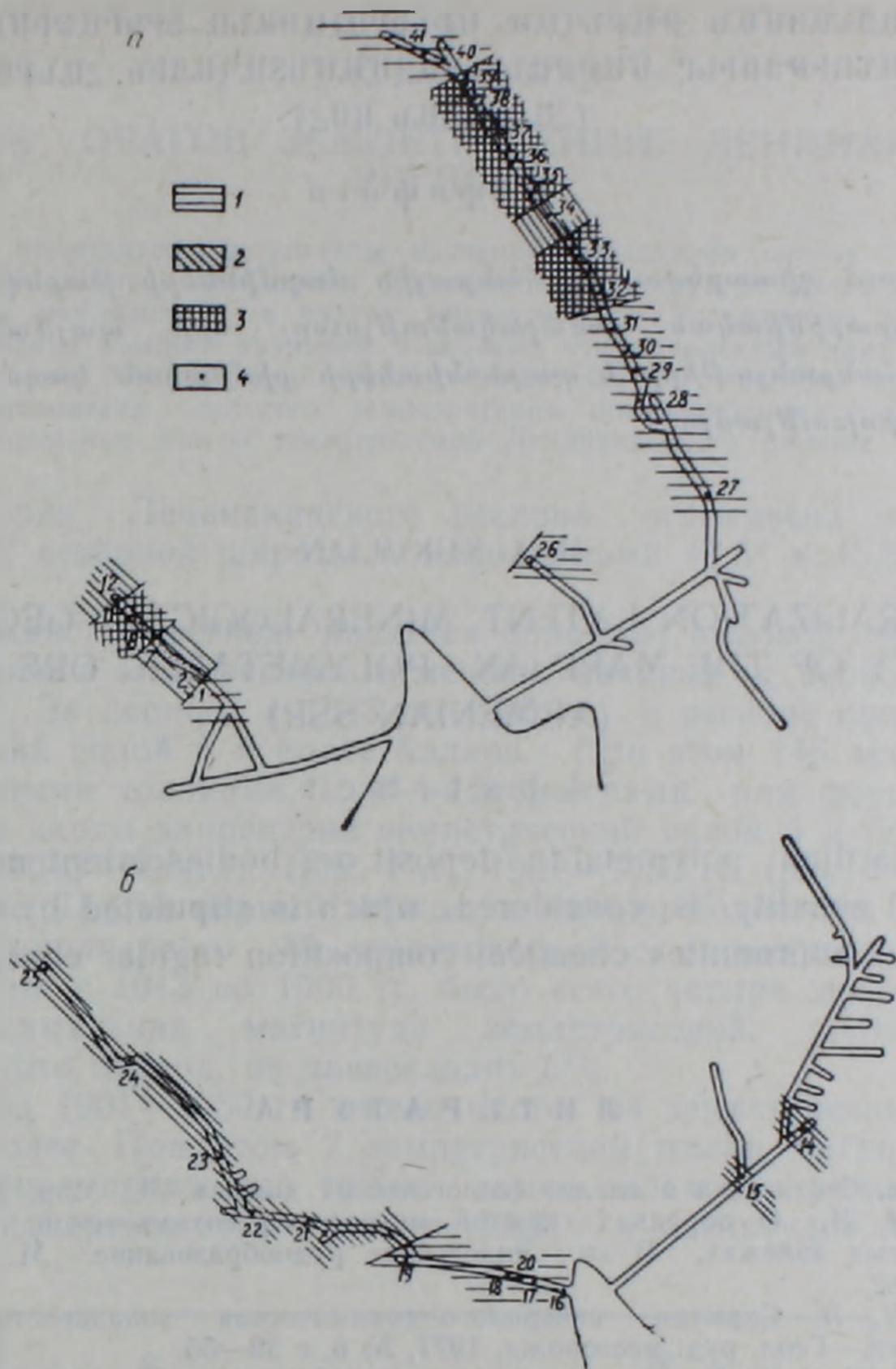


Рис. 2. Скрытая минералого-геохимическая зональность оруденения, обусловленная изменением состава блеклых руд на разведочных горизонтах: а) 2370 м, б) 2250 м. Зоны развития: 1—теннантитов (I группа), 2—тетраэдритов (II группа), 3—Ag-тетраэдритов (III группа), 4—точки наблюдения.

Выводы

В пределах третьей продуктивной стадии минерализации по изменению химического состава блеклых руд в пространстве установлена скрытая минералого-геохимическая зональность монозерен (зональность четвертого порядка) и рудных тел (зональность первого порядка). Впервые для выявления зональности рудных тел был использован кластерный анализ, позволивший выявить наиболее приближенную к реальной картину закономерного распределения блеклых руд различного состава в пространстве.

Выявленную скрытую минералого-геохимическую зональность рудных тел рекомендуется учитывать при разработке производственно-технологической схемы извлечения полезных компонентов, а также при геологоразведочных и геолого-поисковых работах.

ՀԱՆՔԱՅՆԱՅՄԱՆ ԹԱՔՆՎԱԾ ՄԻՆԵՐԱԼՈԳԻԱԿԱՆ-ԵՐԿՐԱՔԻՄԻՈԿԱՆ
ՉՈՆԱՅՈՒԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆԸ ՄԱՐՉԱՆԻ ԲՍՉՄԱՄԵՏԱՂԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐՈՒՄ
(ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ)

Ա. մ. փ ո փ ու լ մ

Հոդվածում դիտարկվում է հանքային մարմինների թաքնված միներալա-լարանա-երկրաքիմիական զոնայականությունը, որը պայմանավորված է խունացած հանքանյութերի և բուրնոնիտների քիմիական կազմության օրինաչափ փոփոխությամբ:

M. A. KUKULIAN

THE MINERALIZATION LATENT MINERALOGICAL—GEOCHEMICAL
ZONALITY OF THE MARDJAN POLYMETALLIC ORE DEPOSIT
(ARMENIAN SSR)

A b s t r a c t

The Mardjan polymetallic deposit ore bodies latent mineralogical-geochemical zonality is considered, which is stipulated by the grey ore minerals and bournonites chemical composition regular changes.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Девис Дж. Статистика и анализ геологических данных. М.: Мир, 1977, 572.
2. Еремин Н. И. О порядках скрытой минералого-геохимической зональности в колчеданных залежах. В кн.: Эндогенное рудообразование. М.: Наука, 1985, с. 250—262.
3. Еремин Н. И. Скрытая минералого-геохимическая зональность колчеданных рудных тел.—Геол. руд. месторожд. 1977, № 6, с. 39—55.
4. Еремин Н. И. и др. Эндогенная зональность сфалеритовой и теннантит-тетраэдритовой минерализации Гуслияковского месторождения на Рудном Алтае.—Геолог. рудн. месторожд., 1975 № 1, с. 58—63.
5. Минералы рудных формаций Армянской ССР. Т. 1, Ереван: Изд. АН АрмССР, 1984. 306 с.
6. Мозгова Н. И., Цепин А. И. Блеклые руды: особенности химического состава и свойств. М.: Наука, 1983, 280 с.
7. Пароникян В. О. Характер минерализации полиметаллической формации руд Айоцзорского рудного района Армянской ССР.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1964, т. 17, № 3—4, с. 55—70.
8. Сахарова М. С. О зависимости химического состава блеклых руд от условий рудообразования.—В кн.: Очерки геохимии гипергенных и эндогенных процессов. М.: Наука, 1966, с. 109—118.
9. Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1982. 669 с.
10. Смирнов В. И., Еремин Н. И. О минералого-геохимической зональности сульфидных рудных тел.—Зам. ВМО, 1976, т. 105, № 5 с. 598—616.
11. Smirnov V. J. et al. The study of Internal Chemical Heterogeneity of Microcrystals with JXA—5. Jcol. News, 1973, 11e № 1, pp. 47—51.
12. Wu J., Peterson U. Geochemistry of Tetrahedrite and Mineral Zoning of Casapalca, Peru. Econ. Geol., 1972, v. 72, № 6, p. p. 993—1016.