DOI: 10.24411/0869-7175-2019-10020

УДК 553.44’3’9(479.24)
© Н.А.Новрузов, Н.А.Саттарзаде, 2019

Основные черты минералого-геохимических особенностей руд месторождения Филизчай (Азербайджан)

Н.А.НОВРУЗОВ (Институт геологии и геофизики НАН Азербайджана; Азербайджан, AZ1143, г. Баку, пр. Г.Джавида, 119),
Н.А.САТТАРЗАДЕ (Бакинский государственный университет; AZ 1148, AZ-1073/1, ул. Академика Захида Халилова, 23)

Рассмотрены основные черты минералого-геохимических особенностей руд стратиформного колчеданно-полиметаллического месторождения Филизчай на Южном склоне Большого Кавказа. Полигенно-полихронные руды месторождения, формировавшиеся в условиях широкой вариации физико-химических параметров процесса минералообразования, характеризуются богатым минеральным составом и широким геохимическим спектром. Сравнением средних содержаний редких элементов в сульфидах с их минеральными кларками установлен коэффициент их геохимической обогащённости. Рудообразование на месторождении носит полиэтапный и многостадийный характер. На месторождении выявлена минералого-геохимическая зональность, что связано с закономерным пространственным размещением отдельных типов руд залежи. Для количественного выражения зональности вычислен показатель геохимической зональности на основе соотношений концентрации элементов фронтальных (Zn, Pb, Ag) и тыловых (Cu, Co, Mn) частей залежи.
Ключевые слова: Филизчай, колчеданно-полиметаллическое, рудообразование, редкие элементы.

Новрузов Новруз Ахмед оглу
доктор геолого-минералогических наук
nnovruz@rambler.ru

Саттарзаде Нигяр Айдын гызы
доктор геолого-минералогических наук
nigar-23@mail.ru

The main mineralogical-geochemical features of Filizchay deposit ores (Azerbaijan)

N.A.NOVRUZOV (Institute of Geology and Geophysics, National Academy of Sciences, Azerbaijan)
N.A.SATTARZADE (Baku State University)

The article describes the main mineralogical and geochemical features of the ores from the stratiform pyrite-polymetallic Filizchay deposit on the southern slope of the Greater Caucasus. Polygenic-polychronic ores of the deposit formed through a wide variation of the physical-chemical parameters of the mineral formation process are characterized by a rich mineral composition and a wide geochemical spectrum. By comparing the average content of rare elements in sulfides with their mineral clarke, the coefficient of their geochemical enrichment is established. Ore formation at the deposit has a polyphase and multi-stage character. Mineralogical and geochemical zonality has been identified at the deposit, which is associated with the regular spatial distribution of certain types of ore deposit. For the quantitative expression of zonality, the index of geochemical zonality is calculated on the basis of the ratios concentration of the elements in the frontal (Zn, Pb Ag) and rear (Cu, Co, Mn,) parts of the deposit.
Key words: Filizchay, pyrite-polymetallic, ore formation, rare elements.

Стратиформное месторождение Филизчай на Южном склоне Большого Кавказа, являясь самым крупным колчеданно-полиметаллическим месторождением в регионе, характеризуется многообразием текстурно-минералогических типов руд, их богатым минеральным составом и широким геохимическим спектром. Промышленная ценность колчеданных месторождений региона связана с последующим наложением на них продуктивных пирит-полиметаллической и медно-пирротиново-полиметаллической

ассоциаций второго рудного этапа, в результате которого были созданы комбинированные полигенно-полихронные рудные залежи [4–6, 12].

Площадь Филизчайского месторождения сложена нижнеюрскими терригенными образованиями верхнего плинсбаха (филизчайская серия) и тоара (губахская и муровдагская серии). Отложения филизчайской серии (J_1p_2), представленные толщей тёмно-серых, почти чёрных глинистых сланцев, чередующихся в виде пачек с пакетами песчаного флишоида, являясь самой древней толщей месторождения и выступая в ядре Карабчайской антиклинали в виде относительно узкой полосы, вмещают Филизчайскую залежь.

Колчеданно-полиметаллическая залежь месторождения, сложенная преимущественно (90–95%) агрегатами сульфидных руд, морфологически выражена единым компактным пластообразным телом с простиранием 1000–1200 м, падением 1500–1600 м и средней мощностью 12,5 м, закономерно возрастающей с западного фланга на восточный. Кровля залежи на всём протяжении характеризуется более устойчивым, а подошва – более сложным строением. Медно-пирротиновые руды, составляющие около 2% объёма рудной залежи, образуют жилообразное тело в лежачем боку стратиформной части последней.

Основные текстурные рисунки колчеданно-полиметаллических руд – слоисто-полосчатый, массивный, пятнисто-брекчиевидный, прожилково-вкрапленный. Медно-пирротиновые руды характеризуются массивной, порфировидной, брекчиевидной и прожилково-вкрапленной текстурами. Отмечается большое разнообразие структур руд, среди которых преобладают зернистые разновидности (гипидиоморфнозернистая, аллотриоморфнозернистая, интерстициальная). В рудах присутствуют почковидные, колломорфно-зональные и глобулярные агрегаты пирита, а также других сульфидных минералов. Структуры замещения представлены коррозионной, пластинчатой, петельчатой, прожилковой и другими разновидностями. Структуры распада твёрдых растворов обычно представлены эмульсионными включениями халькопирита в сфалерите.

В составе полигенно-полихронных руд Филизчайского колчеданно-полиметаллического месторождения пирит является господствующим сульфидным минералом. К главным минералам руд относятся также сфалерит, галенит, халькопирит и пирротин. Рудосоставляющие сульфидные минералы представлены несколькими генерациями. Второстепенные минералы – магнетит, мушкетовит, иногда арсенопирит – обычно развиваются в рудах пиритового и магнетит-пиритового составов. Тетраэдрит, теннантит, бурнонит, подавляющее большинство редко встречающихся минералов (буланжерит, джемсонит, геокронит, нагиагит, эмплектит, бегерит и др.) обычно устанавливаются в карбонатных полосках колчеданно-полиметаллических руд. Главные жильные минералы – карбонаты, кварц, хлорит – также отмечаются в нескольких генерациях. Несмотря на незначительный масштаб зоны окисления месторождения (всего 0,5% объёма рудной залежи), она характеризуется очень богатым минеральным составом: самородные элементы, сульфиды, окислы, гидрокисды, карбонаты, сульфаты, арсенаты, силикаты и др.

Рудообразование на Филизчайском месторождении носит полиэтапный и многостадийный характер. По мнению Н.К.Курбанова и др. (1983), в истории формирования рудной залежи выделяются три основных этапа минералообразования: на первом произошло отложение гидротермально-осадочных, на втором – гидротермально-метасоматических колчеданно-полиметаллических, а на третьем – гидротермально-метаморфогенных халькопирит-пирротиновых руд. Результаты изотопных исследований серы сульфидов согласуются с мнением о гидротермально-метасоматическом способе формирования руд колчеданно-полиметаллического состава. Установленные Н.А.Новрузовым [10] на основе использования кадмиевого [2] и кобальтовых геотермометров [1, 11] данные относительно температурных условий формирования полиметаллических руд (270°С) и медно-пирротинового рудогенеза (302°–353°С) Филизчайского колчеданно-полиметаллического месторождения очень близки к результатам других исследователей, изучавших эти руды различными физико-химическими методами.

Основными промышленно-ценными компонентами руд месторождения являются цинк, свинец, медь и серебро. Из примесных компонентов золото, висмут, кадмий, индий, кобальт, селен и теллур заслуживают попутного извлечения.

Концентрации промышленно-ценных компонентов в рудах варьируют в широких пределах. По сравнению со слоисто-полосчатыми и массивными колчеданно-полиметаллическими рудами пятнисто-брекчиевидные и прожилково-вкрапленные руды характеризуются значительно низкими средними содержаниями цинка, свинца и серебра, хотя в единичных пробах этих руд они были обнаружены в довольно высоких показателях. Среди цветных металлов количественно преобладает цинк, для которого установлен следующий возрастающий ряд (в %): окисленные (0,19)–первичные (3,66)–смешанные (4,26) руды. Средневзвешенное содержание цинка в колчеданно-полиметаллических рудах слоисто-полосчатой и массивной текстуры более чем в три раза превосходит концентрацию элемента в пятнисто-брекчиевидных и прожилково-вкрапленных рудах.

В промышленно-технологических типах и сортах руд Филизчайского месторождения в распределении свинца выявляется такой возрастающий ряд (в %): первичные (1,41)–смешанные (2,32)–окисленные (3,45) руды. Аналогичный ряд установлен также для серебра с показателями (в г/т): 52, 97,5 и 280. В

окисленных рудах для обоих элементов отмечаются широкие пределы вариаций концентраций. Среди природных типов руд наибольшие содержания свинца и серебра присутствуют в слоисто-полосчатых колчеданно-полиметаллических рудах.

В балансовых рудах месторождения средневзвешенное содержание меди составляет (в %): первичные руды – 0,58, смешанные – 1,56, окисленные – 0,12. В массивных медно-пирротиновых рудах и некоторых текстурных разновидностях колчеданно-полиметаллических руд концентрация элемента колеблется от сотых долей процентов до нескольких процентов.

Основная масса сопутствующих компонентов сконцентрирована в виде изоморфной примеси в главных сульфидах, хотя золото, висмут, теллур, кобальт, мышьяк и сурьма представлены также в собственных соединениях. Многокомпонентные руды месторождения характеризуются некоторыми геохимическими особенностями распределения в них халькофильных редких элементов (Cd, In, Tl, Ga, Ge, Bi, Se, Te), благородных металлов (Au, Ag), других примесных компонентов.

Как известно, с кристаллохимических позиций наиболее благоприятны для изоморфного улавливания кадмия, индия, германия и отчасти галлия тетраэдрические сульфиды (сфалерит, халькопирит), а для таллия – октаэдрические (пирит, галенит). Кадмий относится к наиболее важным примесям месторождения Филизчай (см. таблицу). Наиболее высокие содержания элемента устанавливаются в поздних маложелезистых сфалеритах. Содержание индия в рудах почти на два порядка меньше содержания кадмия, и индием обогащены ранние железистые сфалериты. Сульфид цинка является концентратором и носителем кадмия и индия в исследуемых рудах.

В распределении таллия в колчеданно-полиметаллических месторождениях Южного склона Большого Кавказа установлена чёткая геохимическая закономерность: в месторождениях, где концентрация таллия в пиритах повышенная, в галенитах его мало, а где содержание элемента в галенитах высокое, дисульфиды железа бедны таллием. Галенит из Филизчая и пирит из Катеха наиболее обогащены таллием. Выявлено небольшое содержание таллия в пирите из Филизчайского и галените из Катехского месторождений [8].

Галлий и германий – нехарактерные примеси изученных руд. В рудовмещающих песчано-глинистых отложениях галлия больше, чем в сфалеритах. Пониженный фон германиеносности руд, по-видимому, связан с первичной обеднённостью рудообразующих растворов этим элементом.

Висмут широко распространён в рудах месторождения. Среди сульфидных минералов наибольшее содержание элемента установлено в галените (максимально до 0,3%). Повышенная висмутоносность руд, выраженная в широком развитии индивидуальных минералов висмута (висмутин, теллуровисмутит, тетрадимит, козалит и др.), является одной из минералого-геохимических особенностей колчеданно-полиметаллического оруденения на Филизчайском месторождении.

Селен и теллур относятся к характерным примесным компонентам исследуемых руд. Повышенные содержания селена приурочены к пиритам из массивных медно-пирротиновых и прожилковых пиритовых руд. Устанавливается приуроченность высоких концентраций элемента к кристаллической разности пирита, то есть существует зависимость между содержанием селена и кристаллической зрелостью минерала. Среди сульфидных минералов наибольшее содержание теллура отмечено в халькопирите. Этот минерал из медно-пирротиновой минеральной ассоциации является единственным ведущим сульфидом, в котором содержание теллура превалирует над селеном. В колчеданно-полиметаллических и серно-колчеданных рудах устанавливается значимая корреляционная связь селена с медью и кобальтом. Такая же связь между селеном и теллуром наблюдается в медно-пирротиновых и прожилково-вкрапленных рудах.

Следует отметить, что с целью выяснения степени обогащённости редкими элементами рудосоставляющих минералов при оценке их средних содержаний в сульфидах целесообразно сравнивать эти показатели с минеральными кларками В.В.Иванова [3, 13]. Автор ввёл понятие коэффициент геохимической обогащённости (К), представляющий собой отношение среднего содержания элемента в сульфидном минерале из конкретного месторождения к его минеральному кларку. Следовательно, несмотря на довольно высокие концентрации кадмия в сфалерите из Филизчайского месторождения, доходящие в единичных пробах до 5000 г/т, среднее содержание элемента значительно уступает минеральному кларку. В этом смысле сфалерит и галенит обогащены индием (K_{In}=1,5 и K_{In}=1,9, соответственно). Таллием наиболее обогащён галенит из исследуемого месторождения (K_{Tl}=12,9). Пирротин обогащён селеном (K_{Se}=1,2). Также необходимо отметить, что среднее содержание висмута в галените из колчеданно-полиметаллического месторождения Филизчай составляет 675 г/т (см. таблицу), что больше его рудноминерального кларка в этом минерале (384 г/т) из среднетемпературных колчеданно-полиметаллических месторождений в силикатных породах [13].

В исследуемых рудах золото и серебро присутствуют в количествах, представляющих практический интерес. Как уже было отмечено, в рудах Филизчая серебро совместно с цинком, свинцом и медью относятся к основным компонентам руд, а золото – к попутным. Сравнительно повышенные содержания золота и серебра устанавливаются в слоисто-полосчатых и массивных колчеданно-полиметаллических рудах. По ряду первичные–смешанные–окисленные руды концентрации обоих элементов и их относительные содержания

Средние содержания редких и благородных металлов в главных сульфидных минералах месторождения Филизчай (в г/т)

Элементы	Пирит	Сфалерит	Галенит	Халькопирит	Пирротин
Cd	38,8	1610	20	14,7	15
In	2,3	72,2	7,5	19,8	2,5
Tl	4,5	9,8	59,5	2,3	1,3
Ga	6,2	23,3	4,5	4	3,5
Ge	1,7	3,5	1,5	1,1	1,5
Se	32	7,2	50	8,5	55
Te	3,2	2,8	4	12,7	6
Bi	59,7	36,9	675	95,4	40
Au	0,78	0,40	0,02	0,82	0,15
Ag	38,4	49,7	1030	69,3	21

(Au/ΣCu, Zn, Pb и Ag/ΣCu, Zn, Pb) увеличиваются, а величины серебро-золотого отношения падают. Установлено, что в изученных рудах минералами-концентраторами золота являются халькопирит и пирит, серебра – галенит; минералы-носители: для золота – пирит, серебра – галенит и пирит. В главных сульфидных минералах сосредоточено около 85% общей массы золота и несколько больше – серебра. Остальное количество благородных металлов связано с их собственными минералами.

Высокие содержания кобальта отмечаются в серноколчеданных и медно-пирротиновых рудах. В рассматриваемом месторождении кобальтоносность относится к важным минералого-геохимическим особенностям руд. Устанавливается зависимость содержаний кобальта и никеля от разновидностей рудосоставляющих сульфидных минералов. В прожилково-вкрапленных рудах содержания обоих элементов почти равны, либо никеля несколько больше, что связано с его геохимическим поведением. Концентрация никеля в пиритах и главным образом величина Co/Ni – геохимический критерий особенностей их образования.

Типичный халькофильный элемент – ртуть. Являясь характерной примесью в рудах Филизчая, она распределена крайне неравномерно. Сравнительно повышенные содержания ртути (Hg 12–20 г/т) в слоисто-полосчатых и массивных колчеданно-полиметаллических рудах связаны с присутствием в них блёклых руд и широким развитием сфалерита. Установлено, что в рудах месторождения количество элемента увеличивается по ряду первичные–смешанные–окисленные руды [9]. Сурьма и мышьяк – характерные элементы природных типов руд месторождения. Мышьяка содержится почти на порядок больше. Оба элемента образуют самостоятельные минералы. В рудосоставляющих сульфидных минералах сурьма накапливается в основном в галените, а мышьяк – в пирите. Значимая корреляционная связь чаще всего отмечается в парах элементов: Sb-Pb, Sb-As, Sb-Bi, Sb-Ag, As-Bi и As-Cu.

Марганец и олово относятся к характерным примесным компонентам руд. В единичных пробах колчеданно-полиметаллических руд содержание марганца доходит до одного процента. В изученных рудах концентрация обоих элементов связывается с колчеданно-полиметаллическим оруденением.

Исследованием пространственного распределения компонентов в рудной залежи Филизчайского месторождения выявлена минералого-геохимическая зональность по простиранию, падению и мощности [8]. Вертикальная зональность выражается в закономерном пространственном размещении отдельных типов руд (в висячем боку залежи – колчеданно-полиметаллические, в лежачем – серноколчеданные и медно-пирротиновые руды). В целом от лежачего к висячему боку залежи наблюдается постепенное увеличение содержаний Zn, Pb, Cd, Ag, Tl, Sb, Hg и понижение Cu, Co, Mn, Se. Для количественного выражения зональности вычислен показатель геохимической зональности на основе отношений концентрации элементов фронтальных (Zn, Pb, Ag) и тыловых (Cu, Co, Mn) частей рудной залежи.

Установленные параметры распределения химических элементов, особенно редких и благородных, в текстурно-минералогических типах руд и главных сульфидных минералах, являясь дополнительными показателями для выяснения физико-химических условий минералообразования, относятся к типоморфным признакам исследуемого стратиформного месторождения гидротермально-метасоматического типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Безмен Н.И., Тихомирова В.И., Косогова В.П.* Пирит-пирротиновый геотермометр: распределение никеля и кобальта // Геохимия. 1975. № 5. С. 700–712.
2. *Гететий В.Ф, Чернышев Л.В., Пастушкова Т.М.* Распределение кадмия и марганца между галенитом и сфалеритом // Геология рудных месторождений. 1979. № 6. С. 66–75.

3. *Иванов В.В., Юшко-Захарова О.Е.* Селен и теллур в месторождениях цветных металлов и золота / Комплексные месторождения халькофильных редких элементов. – М.: Недра, 1982. С. 144–212.
4. *Колчеданное* месторождение Кизил-Дере (Дагестанская АССР) и некоторые вопросы его генезиса / В.И.Буадзе, Т.В.Иваницкий, М.И.Джанджгава, Ж.Н.Абашидзе // Известия АН СССР. Серия геол. 1972. № 9. С. 80–96.
5. *Курбанов Н.К.* Основные этапы формирования комбинированных медно-полиметаллических месторождений и их соотношение со стадиями эволюции альпийской терригенной геосинклинали Большого Кавказа // Тр. ЦНИГРИ. 1982. Вып. 168. С. 3–18.
6. *Курбанов Н.К., Алиев Г.И., Велиев Г.А.* Закономерности размещения и структурные условия локализации колчеданно-медно-пирротиновых месторождений Балакен-Загатальского рудного района // Тр. ЦНИГРИ. 1971. Вып. 99. С. 170–179.
7. *Металлогеническая* провинция Большого Кавказа. Зона юрских сланцев Большого Кавказа / Н.К.Курбанов, В.И.Буадзе, А.Г.Твалчрелидзе и др. // Колчеданные месторождения СССР. – М.: Наука, 1983. С. 38–58.
8. *Новрузов Н.А.* Геохимия стратиформных колчеданных месторождений Восточного сегмента Большого Кавказа. – Баку: Nafta-Press, 2016.
9. *Новрузов Н.А.* Особенности распределения ртути в месторождениях колчеданной формации Южного склона Большого Кавказа // Отечественная геология. 2014. № 3. С. 52–58.
10. *Новрузов Н.А.* Редкие элементы как геохимический критерий физико-химических условий формирования руд колчеданных месторождений Восточного Кавказа // Тр. Института геологии. 2007. № 35. С. 141–149.
11. *Пирит-халькопиритовый* термометр: распределение кобальта / Н.И.Безмен, Н.И.Еремин, И.Г.Наразаули и др. // Геохимия. 1978. № 3. С. 384–389.
12. *Смирнов В.И.* Соотношения осадочного и гидротермального процессов при формировании колчеданных руд в юрских флишоидах Большого Кавказа // Доклады АН СССР. 1967. Т. 177. № 1. С. 179–181.
13. *Средние* содержания элементов-примесей в минералах / В.В.Иванов, В.В.Белевитин, Л.Ф.Борисенко и др. – М.: Недра, 1973.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Плата с авторов за публикацию (в том числе с аспирантов) не взимается. Гонорар не выплачивается. Автор, подписывая статью и направляя её в редакцию, тем самым предоставляет редакции право на её опубликование в журнале и размещение в сети «Интернет».
Направление в редакцию работ, опубликованных ранее или намеченных к публикациям в других изданиях, не допускается.

По всем вопросам, связанными со статьями, следует обращаться в редакцию по тел. +7 (495)315-28-47, E-mail: ogeo@tsnigri.ru

Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1