УДК 553.3/.4 : 550.42

DOI 10.46698/VNC.2022.99.83.001

Н.А. Саттарзаде

Н.А. Новрузов

Нигяр Айдынгызы Саттарзаде
Бакинский государственный университет, докторант, г. Баку, Азербайджан, e-mail: nigar-23@mail.ru

Новруз Ахмед оглы Новрузов
Институт геологии и геофизики НАНА, профессор, доктор геолого-минералогических наук, г. Баку, e-mail: nnovruz@rambler.ru

Характеристика минералого-геохимических особенностей стратиформного колчеданного месторождения Филизчай (Большой Кавказ, Азербайджан)

Аннотация. *Филизчайское колчеданно-полиметаллическое месторождение, приуроченное к нижнеюрским (верхнеплинсбахским) терригенным отложениям, характеризуется богатым минеральным составом, разнообразием текстурно-структурных особенностей и широким геохимическим спектром. Основными текстурными типами колчеданно-полиметаллические руд являются слоисто-полосчатый, массивный, пятнисто-вкрапленный и прожилково-вкрапленный. Главные рудные минералы – пирит, сфалерит, галенит, халькопирит и пирротин – представлены несколькими генерациями. Установлено, что медь, цинк, свинец и серебро являются важнейшими промышленными компонентами руд. Среди промышленно-технологических типов руд самые высокие концентрации благородных металлов (Au и Ag) обнаруживаются в окисленных рудах. В природных типах руд месторождения элементами-примеся ми наиболее обогащены слоисто-полосчатые колчеданно-полиметаллические. Показатели концентраций – элементов примесей и величины количественных соотношений между ними в рудах – могут быть использованы в качестве геохимических индикаторов физико-химических условий рудоотложения.*

Ключевые слова: *Филизчайское стратиформное месторождение, рудные минералы, геохимические особенности руд, кластерный анализ.*

Nigar A. Sattarzade
Baku State University, Doctoral student, Azerbaijan, Baku, e-mail: nigar-23@mail.ru

Novruz A. Novruzov
Institute of Geology and Geophysics of ANAS, Azerbaijan, Baku, e-mail: nnovruz@rambler.ru

Characteristics of minerological and geochemical features of Filizchay stratiform pyritic field (Great Caucasus, Azerbaijan)

Abstract. *Filizchay pyritic-polymetallic field attributed to the Lower Jurassic (Upper Plinsbach) terrigeneous deposits is characterized by rich mineralogical composition, diversity of textural and structural peculiarities and wide geochemical spectrum. The major textural types of pyritic-polymetallic ore are laminated-banded, massive, spotty-impregnated and veinlet-impregnated. The basic ore minerals are pyrite, sphalerite, galenite, chalcopyrite and pyrrhotite represented by several generations. Determined that copper, zinc, lead and silver are the major commercially valuable components of ore. Higest concentrations of precious metals (gold and silver) are identified in oxidized ore of commercial-technological type of ore. In natural ore type the laminated-banded pyritic-polymetallic ore is the ore type most enriched by elements-impurities. Parameters of concentrations of elements-impurities and values of their quantitative ratios can be used as geochemical indicators of physical and chemical characteristics of ore deposition.*

Keywords: *Filizchay stratiform deposit, ore minerals, geochemical features of ore, cluster analysis.*

ВВЕДЕНИЕ

Стратиформные колчеданно полиметаллические и медно-цинково-пирротиновые месторождения Южного склона Большого Кавказа, сосредоточенные в нижне-среднеюрских терригенных отложениях и формировавшиеся в условиях широкой вариации физико-химических параметров процесса минералообразования, характеризуются специфическими минералого-геохимическими особенностями. В регионе к стратиформным относятся месторождения Филизчай, Катех, Кацдаг, Джихих-Сагатор и многочисленные рудопроявления, месторождение Кизил-Дере на Южном Дагестане [1, 2, 3, 4]. Руды рассматриваемых колчеданных месторождений, именуемых в геологической литературе как филизчайский тип, соединяют в себе черты уральского, кипрского, куроко и бесси типов. С первыми двумя типами их сближает высокое содержание железа и повышенные концентрации некоторых сидерофильных элементов (Co, Ni, Mn) в пирите, с рудами типа куроко – близость соотношений основных компонентов (Zn, Pb, Cu) и содержаний халькофильных элементов-примесей (Sb, As, Bi, Sn) в пирите и в рудах

в целом – широкое развитие в последних сульфосолей серебра, свинца, меди и висмута, а с рудами типа бесси – сходство главных минералов и уровней концентраций золота и серебра в рудах.

Филизчайское месторождение является самым крупным колчеданно-полиметаллическим объектом на Большом Кавказе. Месторождение характеризуется многообразием текстурно-минералогических типов руд и богатым минеральным составом, а также 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].

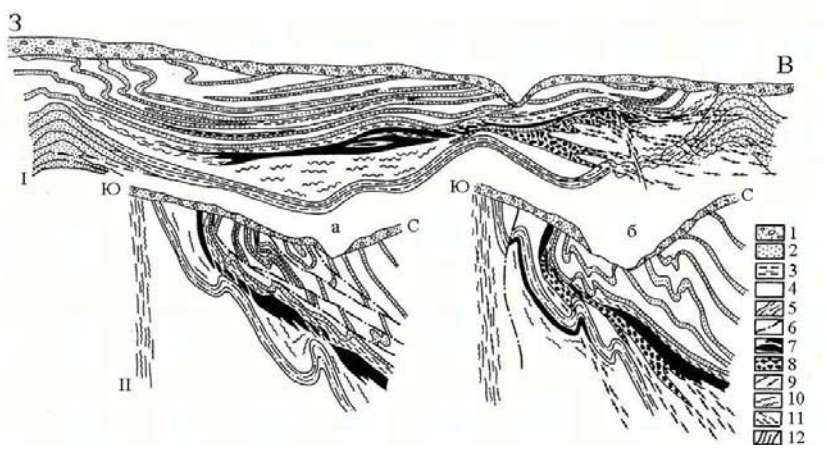


Рис. 1. **Геологические разрезы месторождения Филизчай [4]**
I – продольный; II – поперечные (а – через центральную часть; б – через восточный фланг).
1 – аллювиально-делювиальные отложения; 2 – мелко- и среднезернистые песчаники; 3 – алевролиты; 4 – глинистые сланцы; 5 – пачка песчаного флишоида среди глинистых сланцев подрудной толщи; 6 – разрывные нарушения с глинкой трения; 7 – слоисто-полосчатые пирит-халькопирит-галенит-сфалеритовые руды; 8 – пятнисто-брекчиевидные руды того же состава; 9 – прожилковые руды того же состава; 10 – метаморфизованные пиритовые прожилки; 11 – зона приразрывной сланцеватости; 12 – вязкий сброс

В геологическом строении месторождения (*рис. 1*) принимают участие терригенные отложения плинсбахского (филизчайская серия) и тоарского (губахская и муровдагская серии) ярусов нижней юры [2, 4].

Верхнеплинсбахские отложения представлены толщей глинистых сланцев, пачки которых чередуются с пакетами песчаного флишоида. Эта самая древняя толща месторождения, вмещающая филизчайскую залежь, выступает в ядре Карабчайской антиклинали в виде относительно узкой полосы, шириной от 600 (на востоке) до 200 м (на западе). Подошва толщи на площади месторождения не подсечена и зафиксирована лишь за ее пределами – на других участках Кацдаг-Филизчайского рудного узла.

Общая видимая мощность толщи 450–500 м. Вверх по разрезу отложения филизчайской серии сменяются породами губахской серии тоара, которая расчленяется на две толщи: песчано-сланцевую и глинисто-сланцевую. Общая мощность этой толщи 970 м. К северу со стороны висячего бока Кехнамеданской взбросо-надвиговой зоны обнажаются тоарские отложения муровдагской серии.

Структурная позиция Филизчайского месторождения определяется его приуроченностью к участку сочленения северного крыла Карабахской сундучной антиклинали с Кехнамеданским выбросо-надвигом, осложненным Балакенчайским локальным поперечным инверсионным поднятием. Главными элементами рассматриваемой структуры являются: ядро Карабчайской антиклинали, ее северное крыло и часть Кехнамеданской зоны смятия.

Основной особенностью морфологии колчеданно-полиметаллической залежи месторождения является то, что это единое компактное пластообразное тело, сложенное преимущественно (на 90–95 %) агрегатами сульфидных руд. Мощность рудной залежи, в целом, закономерно возрастает с запада на восток, в сторону ее склонения [7].

В отличие от многих колчеданных месторождений подобного типа (Озерное, Холоднинское, Раммельсберг, Мегген, Маунт-Айза, Брокен-Хилл и др.) на Филизчае роль внутрирудных пустых прослоев незначительна [3].

Филизчайское колчеданно-полиметаллическое месторождение по минеральному составу руд является типичным колчеданным. В зависимости от преобладания рудосоставляющих сульфидных минералов на месторождении выделяются два минералогических типа руд: колчеданно-полиметаллический и медно-пирротиновый. Текстуры этих типов руд существенно отличаются.

Колчеданно-полиметаллические руды занимают основной объем залежи месторождения Филизчай. Главными текстурными типами этих руд являются слоисто-полосчатый, массивный и пятнисто-вкрапленный, которые со стороны лежачего бока рудной залежи сопровождаются ореолом прожилково-вкрапленных руд.

Концентрирующиеся в висячем боку залежи и прослеживающиеся на всем ее протяжении слоисто-полосчатые руды колчеданно-полиметаллического состава являются доминирующими среди текстурных типов. Текстурный рисунок этих руд, слагающих более 65 % объема залежи [1], создается перемежаемостью различного состава и зернистостью субпараллельных полосок (*рис. 2*). Толщина последних составляет от одного миллиметра до 1–2 см. Полосчатый облик рудам придаются чередующимися

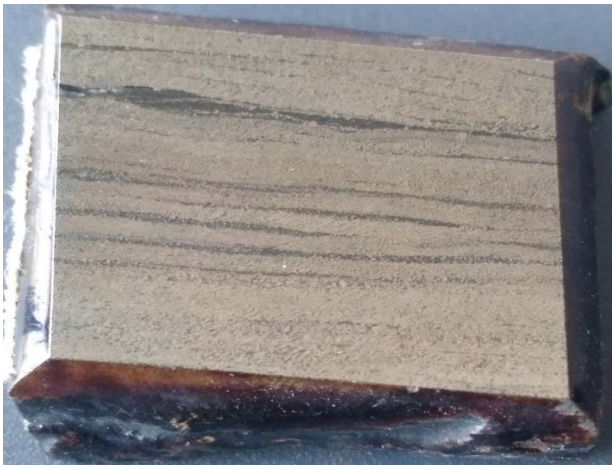


Рис. 2. **Полосчатая текстура колчеданно-полиметаллической руды**
Мелко- и среднезернистая руда. Чередование массивного пирита с полосками карбоната. Светлые полоски сложены в основном пиритом, темные – сфалеритом и галенитом. Полированный штуф. Натуральная величина

полосками пиритового, карбонат-пиритового, халькопирит-пиритового, галенит-сфалерит-пиритового, халькопирит-галенит-сфалерит-пиритового, пирит-пирротинового состава, а также тонкими пропластками глинистых сланцев. В слоисто-полосчатых рудах, помимо основных сульфидных минералов, встречается целый ряд второстепенных и редко встречающихся минералов (магнетит, арсенопирит, блеклая руда, бурнонит, кобальтин, висмутин, буланжерит, петцит, гессит и др.). Полоски нерудных минералов состоят либо из нерудного материала с включениями рудных, либо являются тонкими пропластками рудовмещающих песчано-глинистых пород. Эти руды, имея локальное распространение, развиты на верхних горизонтах восточного фланга.

По деталям текстурного рисунка слоисто-полосчатых руд выделяются три подтипа [8]: прямолинейно-полосчатые, линзовидно-полосчатые и плойчато-полосчатые руды. В прямолинейно-полосчатых рудах полосы различного состава или зернистости расположены линейно-параллельно. В этом подтипе руд отмечаются ритмично- и тонкополосчатые разновидности, которые характеризуются сравнительно постоянной мощностью полосок и простым минеральным составом. В полосчатых рудах слабо развита косослойная разновидность. Линзовидно-полосчатые руды характеризуются линзовидным, линзовидно-прерывистым расположением галенит-сфалерит-халькопиритовых полос в пиритовой массе. Следует отметить, что линзовидная полосчатость руд широко развита в местах распространения песчанистых вмещающих пород. Мощность линз достигает от 0,5 до 2,5 см при их протяженности от одного до десятков см. Плойчато-полосчатость в рудах месторождения отмечается значительно меньше по сравнению с предыдущими подтипами.

Колчеданно-полиметаллические руды массивной текстуры по своему вещественному составу почти аналогичны слоисто-полосчатым, отличаясь лишь крайне слабой полосчатостью или вообще отсутствием последней (*рис. 3*). Массивная текстура обусловлена тонко- и равномернозернистыми агрегатами дисульфида железа. В них сульфиды цветных металлов (сфалерит, галенит, халькопирит), образующие тонко- и мелкозернистые выделения, приурочены к межзерновым пространствам пирита. В составе колчеданно-полиметаллических руд массивного сложения присутствуют также блеклые руды, арсенопирит и нерудные минералы (сидерит, кварц, хлорит, иногда серицит). Детали внутреннего строения рассматриваемых руд, характер зернистости рудосоставляющих минералов и отсутствие признаков переотложения вещества указывают на сравнительно спокойную обстановку рудообразования [9].

По размеру зерен сульфидных минералов массивные колчеданно-полиметаллические руды делятся на три подтипа: а) основную массу руды составляет тонкозернистый и афонитовый пирит с редкими включениями сульфидов цветных минералов; б) основная масса руды представлена сплошными агрегатами тонкозернистого пирита; в) сплошные рудные участки созданы сравнительно крупнозернистыми агрегатами пирита (1–5 см).

Пятнисто-вкрапленная текстура образуется пятнами и вкраплениями пирита в нерудной массе (*рис. 4*), количество которых варьирует от 20 до 75 %. Минеральный состав этих руд довольно прост и состоит из пирита, магнетита, в меньшей степени из сульфидов цветных металлов, иногда присутствуют второстепенные минералы (блеклые руды и др.). В составе этих руд Н.Ш. Юсифов [8] выделяет три текстурных подтипа: пиритовые руды пятнистой, пятнисто-вкрапленной и пятнисто-брекчиевидной текстуры.

Пятнистая текстура создается неравномерным распределением включений нерудных минералов (карбонаты, кварц, хлорит) на пиритовой массе. Дисульфид железа представлен колломорфно-зернистыми агрегатами. Пятнисто-вкрапленная

Рис. 3. **Массивная пирротин-пиритовая руда**
Порфировидные выделения пирита, корродируемые пирротином и карбонатом. Полир. шлиф. Увел. 90х

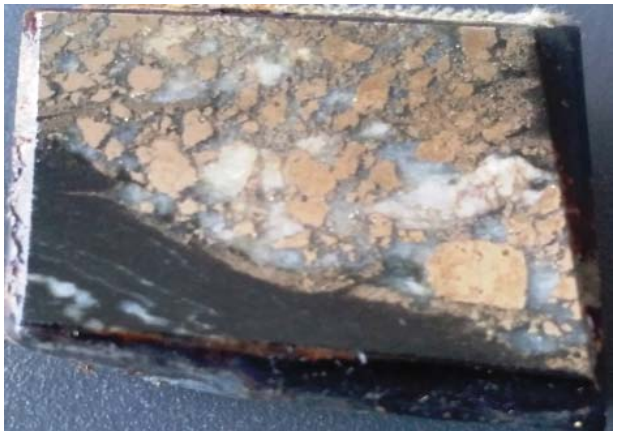


Рис. 4. **Пятнисто-вкрапленная руда**
Разнозернистая пиритовая руда с примесью халькопирита (спайность, двойниковая). Карбонатно-пятнисто-вкрапленная, большей частью сплошная руда. Полир. шлиф. Увел. 90х

текстура образуется пятнисто-сгустковым распределением агрегатов пирита в массе других минералов. К рудным минералам относятся магнетит, реже сфалерит, к нерудным – вмещающие породы, карбонаты, кварц, хлорит. Характерной особенностью пирит-брекчиевидных руд является заполнение сплошной пиритовой массой интерстиций первоначально раздробленных пород, где замещенные глыбы отличаются крупной зернистостью пиритовых агрегатов.

Прожилково-вкрапленные руды локализуются в лежачем боку рудной залежи на восточном фланге месторождения. Основная масса прожилков представлена пиритом с небольшим количеством сфалерита, галенита и халькопирита. Нерудные минералы состоят из карбонатов, кварца и хлорита. По ориентировке и густоте прожилков и количественному соотношению их с вмещающими породами выделяются четыре основных типа прожилковых руд: а) параллельно-прожилковый, б) штокверковый, в) прожилково-брекчиевидный, г) прожилково-вкрапленный. Параллельно-прожилковые руды развиты исключительно в глинистых сланцах, где тонкие прожилки пиритового состава чередуются с пропластками этих пород. Вблизи лежачего контакта пятнистых руд количество рудных прожилков увеличивается (мощность прожилков 1–3 мм). С удалением от этого контакта мощность рудных прожилков увеличивается (от 0,5 до 5–7 см) и расстояние между ними составляет от 0,5–1 до 10–15 см. Штокверковые руды представлены густо переплетающимися тонкими прожилками пирита в раздробленных и измененных породах. Прожилково-брекчиевидные руды образуются густой сетью прожилков пиритового состава. Прожилково-вкрапленные руды связаны с пятнисто-вкрапленными рудами пиритового состава постепенным переходом.

Текстурные особенности регенерированных жильных образований приведены в работе Н.Ш. Юсифова [8], который среди них выделяет: сплошные сульфидные прожилки, карбонатные и кварцевые прожилки с характерными для них минеральными ассоциациями. Жильные минералы заполняют небольшие трещинки во вмещающих рудах, обычно расположенные вкрест простирания полосчатости. Сплошные сульфидные прожилки сложены сравнительно крупнозернистыми (до 0,5 см) агрегатами сульфидов свинца, цинка и меди, блеклой руды и бурнонита. Промежутки между кристаллами заполнены каолинитом и аллофаном. Карбонат-сульфидные прожилки, основную массу которых составляет сидерит, широко распространены по нижним горизонтам рудной залежи. В них наряду с пиритом, пирротином, арсенопиритом, сфалеритом, галенитом и блеклой рудой также часто встречаются редкие минералы – семсейит, козалит, серебро самородное. Среди жильных образований важное место занимают секущие кварцевые прожилки, представленные, кроме основных минералов (пирита, пирротина, халькопирита, галенита, сфалерита, бурнонита и блеклой руды), также редкими минералами – теллуровисмутитом, петцитом, гесситом, алтаитом, самородным золото и др.

Медно-пирротиновые руды, приуроченные к лежачему боку стратиформной залежи в восточной части месторождения, характеризуются массивной брекчиевидной, брекчиевой, порфировидной и прожилково-вкрапленной текстурами. Руды массивной текстуры представлены равномерным расположением мелко- и среднезернистых агрегатов пирротина. Брекчиевидная и брекчиевая текстуры отличаются присутствием обломков вмещающих пород и колчеданно-полиметаллических руд среди цементирующих их аллотриоморфнозернистых агрегатов пирротина. Цементация пирротиновой массой округлой формы обломков пирита придает медно-пирротиновым рудам порфировидную текстуру. Прожилково-вкрапленные медно-пирротиновые и колчеданно-полиметаллические руды находятся в тесной пространственной ассоциации. Анализ возрастных соотношений подтверждает наложенный характер халькопирит-пирротиновых руд [1].

Полигенно-полихронный характер процесса формирования руд месторождения Филизчай обусловил большое разнообразие их структур [8, 9, 10]. Выявленные на месторождении структуры руд объединены в три группы: 1) отложения из растворов; 2) замещения; 3) метаморфические (перекристаллизация, катаклаз, переотложение и др.).

Среди структур отложения наиболее характерными являются гипидиоморфнозернистая, аллотриоморфнозернистая и интерстициальная структуры. В рудах массивного сложения с тонкозернистым строением создаются петельчатые структуры отложения. В пятнисто-вкрапленных и прожилковых типах руд встречаются порфиробластовые структуры, присущие пиритовым агрегатам. Из структур отложения широкое развитие получили колломорфные. Многообразие метаколлоидных образований выражается проявлением следующих структурных

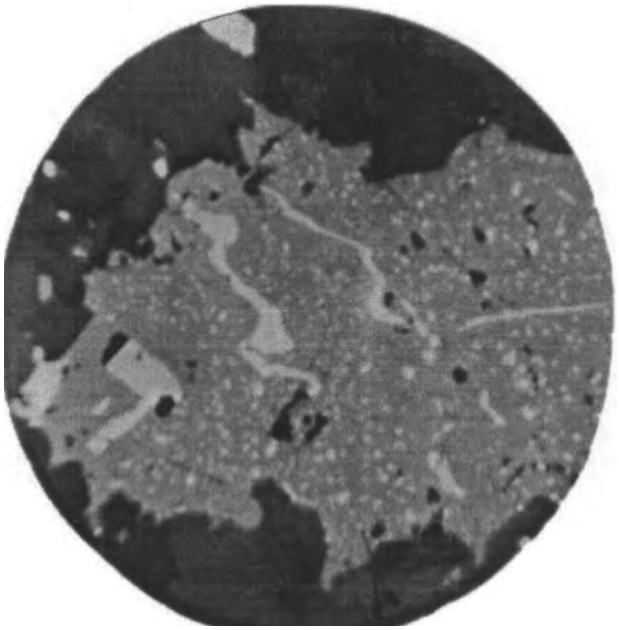


Рис. 5. **Структура распада твердого раствора**
Эмульсионные выделения халькопирита (белое) в сфалерите (серое). Большие выделения (светло-серое) на фоне сфалерита – пирротин. Темно-серое и черное – нерудные минералы. Полир. шлиф. Увел. 300

разновидностей: колломорфно-зональные, сфероидальные, радиально-лучистые, эллипсоидальные, глобулярные [11].

В изученных рудах структуры замещения представлены некоторыми морфологическими разновидностями: коррозионной, пластинчатой, петельчатой, краевых каемок, прожилковой и др. Коррозионные структуры (разъедания, реликтовая, скелетная и раскрошенная) являются преобладающими среди разновидностей структур замещения. В медно-пирротиновых рудах в местах дисульфидизации пирротина получили развитие концентрически-зональные, прожилковидные, полусферические агрегаты и метакристаллы минералов-новообразований (пирита и марказита). Структуры распада твердых растворов представлены, в основном, эмульсионной разновидностью, характеризующейся присутствием мельчайших включений халькопирита в сфалерите (*рис. 5*).

Тектоническими подвижками обусловлены различные метаморфические преобразования руд (проявление катакластической и гранобластовой структур, структур течения и смятия, перекристаллизация и переотложение минеральных агрегатов и др.). Преобразования руд осуществлялись также воздействием на ранние сульфидные минералы. С поступлением новой порции гидротермов связывается присутствие в рудах метакристаллов пирита, марказита и арсенопирита. Следует отметить, что группа метаморфических структур является наиболее сложным типом в рудах Филизчайского месторождения.

Зона окисления месторождения характеризуется большим разнообразием текстурно-структурных признаков минеральных агрегатов. Так, для гидроокислов железа характерны пятна, вкрапления, землистые массы, корки и др., малахита и азурита – примазки, самородной меди – дендриты и пластинчатые агрегаты, мельниковита, гетита и гидрогетита – концентрически-зональные обособления, галотрихита и госларита – тонковолокнистые агрегаты и т. п. [1].

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУД

Руды Филизчайского колчеданно-полиметаллического месторождения характеризуются присутствием около ста минеральных видов [8, 9, 10, 12, 13]. Богатый минеральный состав руд отражен в *таблице 1*.

Доминирующим сульфидным минералом первичных руд месторождения является пирит, представленный несколькими генерациями. К главным рудным минералам изученных руд относится также сфалерит, галенит, халькопирит и пирротин (*рис. 6*). В рудах Филизчайского месторождения Н.Ш. Юсифовым [8] выделены следующие парагенетические минеральные ассоциации: 1) ранняя пиритовая; 2) магнетит-мушкетовит-пирит-сидеритовая; 3) полиметаллическая; 4) ассоциация минералов сложных сульфосолей; 5) редкометальная; 6) медно-пирротиновая; 7) пострудная кварц-карбонат-хлоритовая. Анализ структурных и пространственных соотношений минералов позволили А.Г. Злотник-Хоткевичу [10] выделить в колчеданно-полиметаллических рудах месторождения семь последовательно образовавшихся парагенетических минеральных ассоциаций (ранняя пиритовая; пирит-арсенопиритовая; сфалерит-галенитовая; поздняя пиритовая; халькопирит-тетраэдритовая; сульфоантимонидная; ассоциация теллуридов), а в медно-пирротиновых рудах – три минеральные ассоциации (магнетит-сидеритовая; халькопирит-пирротиновая; пирит-хлоритовая).

Ниже приводится краткая характеристика рудосоставляющих минералов руд и нерудных минералов.

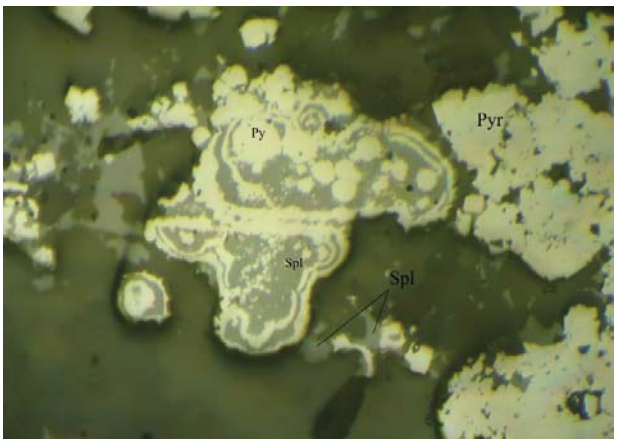


Рис. 6. **Концентрически-зональный сфалерит**
(серое) – пиритовый (белое) агрегат с глобулярными обособлениями последнего среди карбоната (темное). Черное – пустоты. Полированный шлиф. Увел. 210х

Таблица 1

Минеральный состав руд Филизчайского месторождения [13]

Степень распространения	Гипогенные		Гипергенные
	рудные	нерудные	
Главные	Пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, пирротин	Кварц, кальцит, сидерит, хлорит	Гидроокислы железа, халькозин, ковеллин, малахит, азурит, борнит, гипс
Второстепенные	Марказит, арсенопирит, тетраэдрит, теннантит, фрейбергит, мельниковит, магнетит, мушкетовит, кобальтин, бурнонит, гематит	Серицит, доломит, анкерит, биотит, актинолит, барит, хальцедон, арагонит	Марказит, мельниковит, халькантит, ярозит, госларит, скородит, галлуазиты, куприт, тенорит, англезит, церуссит, самородная медь, самородная сера, смитсонит, мелантерит, мансфильдит
Редко встречающиеся	Рутил, ильменит, висмутин, тетрадимит, самородный висмут, теллуровисмутит, эмплектит, джемсонит, дискразит, люцонит, энаргит, фаматинит, козалит, клапротолит, глаукодот, данаит, линнеит, менегинит, геокронит, вольфсбергит, гудмундит, бенжаминит, буланжерит, смайтит, грейгит, сарторит, семсейит, беегерит, гессит, алтаит, петцит, нагиагит, волынскит, самородное серебро, самородное золото, раммельсбергит (?), риккардит (?), сильванит (?)		Галотрихит, монотермит, калиевые квасцы, алуноген, аллофан

Пирит. Среди разновидностей дисульфида железа преобладает ранняя генерация, которая слагает массивные серноколчеданные и слоисто-полосчатые колчеданно-полиметаллические руды. Пирит первой генерации представлен в виде тонко- и мелкозернистых агрегатов с реликтами метаколлоидного строения. Размеры зерен от мелких включений до крупных кристаллов в 1 см. Крупные сферические образования пирита с радиально-лучистой структурой характерны для пятнисто-вкрапленных и прожилковых руд. Пирит второй генерации, в основном с хорошо ограненными кристаллами в ассоциации с ранними генерациями сульфидных минералов цветных металлов (сфалерита, галенита и халькопирита), участвует в строении слоисто-полосчатых колчеданно-полиметаллических руд. Пирит I, обладая большим разнообразием форм выделений (концентрически-зональные, радиально-лучистые, сферические агрегаты, глобулярные образования), присутствует в массивных серноколчеданных и слоисто-полосчатых колчеданно-полиметаллических рудах. В этих рудах глобулярные выделения пирита находятся в ассоциации со сфалеритом, марказитом и пирротином. Совокупность ряда структурных особенностей (участие глобулей пирита в строении металлоидных структур, широкое развитие в рудах сферолитовых, колломорфных и почковидных выделений, присутствие мельниковит-пирита в глобулярных и сферолитовых образованиях и др.) позволила обосновать коллоидную природу образования глобулитов пирита в рудах Филизчайского месторождения [9]. В строении концентрически-зональных обособлений участвуют также карбонаты, сфалерит, галенит и халькопирит. Последняя генерация пирита II связана с формированием медно-пирротиновых руд, где она представлена четко ограненными кристаллами.

Следует отметить, что в кристаллах пирит встречается редко. В пятнисто-вкрапленных рудах отмечаются кристаллы пирита в виде порфировидных включений кубического габитуса. В рудовмещающих глинистых сланцах часто встречаются выделения пирита с ясно выраженными кристаллографическими очертаниями в виде куба, размеры которых иногда доходят до 1,5 см. Эти кристаллики пирита являются сингенетичными с вмещающими глинистыми сланцами и не связаны с формированием рудной залежи месторождения.

Сфалерит в изученных рудах количественно преобладает среди сульфидов цветных металлов. Отмечается несколько генераций сфалерита. В слоисто-полосчатых колчеданно-полиметаллических рудах сфалерит первой генерации составляет основную массу полиметаллических полос в виде неправильных, иногда несколько удлиненных аллотриоморфнозернистых агрегатов. Наблюдается ксеноморфизм сфалерита по отношению к пириту. Субграфические срастания сфалерита с галенитом указывают на близкое или одновременное их образование. В пятнисто-вкрапленных рудах сфалерит I отмечается в виде бесформенных включений в нерудной массе (карбонате), где агрегаты сульфида цинка захватывают включения магнетита. Контакты крупных зерен сфалерита и халькопирита указывают на почти одновременное образование. Часто галенит заполняет промежутки зерен сфалерита и замещает его. Сфалерит второй генерации неред-

ко встречается в слоисто-полосчатых рудах. В прожилково-вкрапленных рудах сфалерит II генерации, образуя единичные выделения, отличается от сфалерита I генерации более светлой окраской. Сфалерит первой генерации, являясь железосодержащей разновидностью сфалерита – марматита, образует кристаллы темно-серого и черного цвета. Сфалерит в виде кристаллов отмечается значительно чаще, чем другие минералы. Сфалерит III встречается в медно-пирротиновых рудах, где приурочен к интерстициям зерен пирротина в виде агрегатов ксеноморфных зерен с эмульсионной вкрапленностью халькопирита.

Галенит – широко распространенный минерал колчеданно-полиметаллических руд. Следует отметить, что все выделенные генерации сульфида цинка сопровождаются соответствующими генерациями галенита. Мелкие выделения галенита первой генерации, как было отмечено выше, субграфически срастаясь со сфалеритом I, имеют самые разнообразные формы в слоисто-полосчатых и частично в массивных колчеданно-полиметаллических рудах. Редкие вкрапленники сульфида свинца в пиритовой массе распределены между зернами карбоната, нередко отмечаются ассоциации галенита с сульфосолями (бурнонитом, буланжеритом, джемсонитом и блеклыми рудами). Галенит второй генерации, являясь составной частью полиминеральных концентрически-зональных агрегатов, наблюдается в сплошных участках слоисто-полосчатых колчеданно-полиметаллических руд. Характерной особенностью галенита второй генерации является распределение в них тонких и каплевидных включений сфалерита, по-видимому, образовавшихся в результате переотложения ранней генерации сульфида цинка. Галенит III генерации присутствует в медно-пирротиновых рудах совместно со сфалеритом, располагается в межзерновых пространствах выделений пирротина, интенсивно корродируя их.

Халькопирит – характерный минерал слоисто-полосчатых и массивных руд колчеданно-полиметаллического состава и особенно медно-пирротиновых руд. Ранняя генерация халькопирита совместно с пиритом обособляется в полосках слоисто-полосчатых колчеданно-полиметаллических руд. Халькопирит I с аллотриоморфнозернистой структурой встречается в колчеданно-полиметаллических рудах массивного сложения. Халькопирит II наблюдается в поликомпонентных почковидных обособлениях совместно с другими сульфидами. Третья генерация халькопирита является характерным минералом медно-пирротиновых руд, где нередко отмечается в виде мелких эмульсионных выделений типа распада твердого раствора в сфалерите III, что указывает на гомогенные фазы кристаллизации при температуре 350–400° соответственно [14].

Главная масса **пирротина** сконцентрирована в медно-пирротиновом текстурно-минералогическом типе руд. Выявлены две структурные модификации минерала: гексагональная и моноклинная разновидность пирротина. Гексагональный пирротин пользуется большим развитием, а моноклинный – отмечается на границах зерен и в микротрещинках гексагонального. По данным М.А. Кашкая и др. [9], на Филизчайском колчеданно-полиметаллическом месторождении наиболее распространены пирротины состава Fe_8S_9-$Fe_{12}S_{13}$.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД

Важнейшими промышленными компонентами руд являются цинк, свинец, медь и серебро. В *таблице 2* приведены данные концентраций меди, цинка и свинца в балансовых рудах Филизчайского месторождения. Из этих данных следует, что среди цветных металлов в исследуемых рудах количественно преобладает цинк. В распределении средневзвешенных концентраций элемента в балансовых рудах месторождения устанавливается такой возрастающий ряд: окисленные – первичные – смешанные руды. Среди природных типов руд наибольшим содержанием цинка отличаются колчеданно-полиметаллические руды слоисто-полосчатой и массивной текстуры. Содержание цинка в массивной серноколчеданной разновидности заметно, а в пятнисто-вкрапленных и прожилковых рудах значительно понижается.

По уровню концентраций средневзвешенных содержаний свинца в промышленно-технологических типах руд Филизчайского месторождения отмечается такой возрастающий ряд: первичные – смешанные – окисленные руды. Последние характеризуются довольно широкими пределами концентраций свинца. Аналогичный ряд установлен также для серебра. В текстурно-минералогических типах руд наибольшее содержание свинца, а также серебра, выявляется в слоисто-полосчатых колчеданно-полиметаллических, а наименьшее – в пятнисто-вкрапленных и прожилковых рудах.

В промышленно-технологических типах руд месторождения наибольшие концентрации меди установлены в смешанных рудах, приуроченных к зоне вторичного сульфидного обогащения, а наименьшие – в окисленных рудах. В первичных рудах, занимающих промежуточное положение, наибольшее содержание меди отмечается в массивных медно-пирротиновых рудах и в некоторых текстурных разновидностях колчеданно-полиметаллических руд.

Цинк является наиболее распространенным основным ценным компонентом руд месторождения. Слоисто-полосчатая разновидность колчеданно-полиметаллических руд характеризуется наибольшим средним содержанием цинка. В колчеданно-полиметаллических рудах полосчатой и массивной текстуры среднее содержание цинка в три раза больше, чем в пятнисто-вкрапленных и прожилковых рудах [13]. Наименьшая концентрация цинка приурочена к окисленным рудам, что связано с тем, что сфалерит, окисляясь до легкорастворимого сульфата цинка, выносится из зоны окисления.

Характер распределения свинца в рудах Филизчая во многом аналогичен цинку. Исключениями

Таблица 2

Пределы и средневзвешенные содержания промышленно-ценных компонентов в балансовых рудах Филизчайского месторождения

Типы руд / Компоненты, %	Балансовые руды		
	Первичные	Смешанные	Окисленные
Медь	0.01 – 8.90 / 0.58	0.05 – 11.0 / 1.56	< 0.01 – 0.27 / 0.12
Цинк	0.10 – 14.70 / 3.66	0.10 – 15.80 / 4.26	< 0.01 – 0.45 / 0.19
Свинец	0.01 – 7.50 / 1.41	0.03 – 11.90 / 2.32	< 0.01 – 55.5 / 3.45

являются окисленные руды, где образующийся при окислении галенита сульфат свинца, обладая малой растворимостью, не удаляется из этой зоны. В присутствии углекислоты англезит постепенно замещается церусситом, который обладает ничтожной растворимостью и сравнительно устойчив в зоне окисления [15].

Руды Филизчайского колчеданно-полиметаллического месторождения имеют довольно широкий спектр химических элементов, промышленная ценность которых прежде всего определяется присутствием концентраций меди, цинка, свинца и серебра. Из примесных компонентов – золото, висмут, кобальт, кадмий, индий, селен и теллур заслуживают попутного извлечения [13, 16].

Ниже в сжатой форме рассматриваются особенности распределения сопутствующих элементов в колчеданных рудах и сульфидных минералах Филизчайского месторождения. Основная масса элементов-примесей сконцентрирована в главных рудообразующих минералах (пирите, сфалерите, галените, халькопирите и пирротине), а некоторые из них (золото, висмут, теллур, кобальт, сурьма, мышьяк) представлены также индивидуализированными минералами. Следует отметить, что характер распределения некоторых элементов-примесей в рудах рассматриваемого месторождения был изучен в работах Н.А. Новрузова [16, 17, 18, 19, 20].

Благородные металлы. На Филизчайском месторождении самые высокие концентрации как золота, так и серебра обнаруживаются в окисленных рудах. Высокое содержание золота в этих рудах наряду с другими факторами связано также с присутствием скородита, церуссита и ярозита, обычно содержащими его повышенные концентрации. Среди природных типов руд рассматриваемого месторождения золотом и серебром наиболее обогащены слоисто-полосчатые колчеданно-полиметаллические руды. В этих рудах золото концентрируется в халькопирите и пирите, а серебро – в галените, также они обособляются в виде собственных минералов (нагиагит, петцит, гессит, фрейбергит, дискразит, бенжаминит, самородное золото и серебро). На тесную геохимическую связь между серебром и свинцом указывает высокий коэффициент корреляции между этими элементами (r = +0,628) в колчеданно-полиметаллических рудах (*табл. 3*), что является значимым. Наличие коррелятивной связи между серебром и свинцом в изученных рудах позволяет ориентировочно оценить концентрации серебра по величине содержания свинца. Уравнение связи (уравнение регрессии), связывающее свинец с серебром, в целом для колчеданно-полиметаллических руд Филизчайского месторождения имеет такое значение: Ag = 25,9205 + 17,4222 Pb (*рис. 7а*). Следует отметить, что в рассматриваемых рудах значимая корреляционная связь устанавливается также между серебром и цинком: r = +0,568. Уравнение связи между этими элементами выражается в следующем: Ag = 16,7097 + 8,2638 Zn (*рис.7б)*. Между серебром и медью, золотом и медью корреляционная связь отсутствует (*табл. 3*).

Элементы плеяды индия. Среди текстурно-минералогических типов руд месторождения наибольшее содержание кадмия, индия, таллия отмечается в слоисто-полосчатых и массивных колчеданно-полиметаллических рудах. Элементы плеяды индия исключительно в изоморфной форме распределены в сульфидных минералах. При этом наибольшие концентрации кадмия, индия, галлия и германия приурочены к сфалериту, а таллия – к галениту. Кадмия содержится обычно на один-два порядка больше, чем других элементов плеяды индия.

Гистограммы частот распределения содержаний кадмия в колчеданно-полиметаллических рудах месторождения показывают, что наибольшие концентрации кадмия расположены в интервале 60–110 г/т.

Между концентрациями кадмия и цинка отмечается высокая корреляционная связь (r = +0,790). Значимый коэффициент корреляции существует также между кадмием и свинцом (r = +0,616) (*табл. 3*). Связь между содержаниями кадмия и меди отрицательная (r = -0,414). Уравнения регрессии между кадмием и цинком, кадмием и свинцом соответственно выражаются следующими: $Cd = 26,7698 + 10,4864 \cdot Zn$ и $Cd = 49,8201 + 15,6183 \cdot Pb$.

Таблица 3

Оценки коэффициентов корреляции между компонентами в колчеданно-полиметаллических рудах Филизчайского месторождения (n = 97)

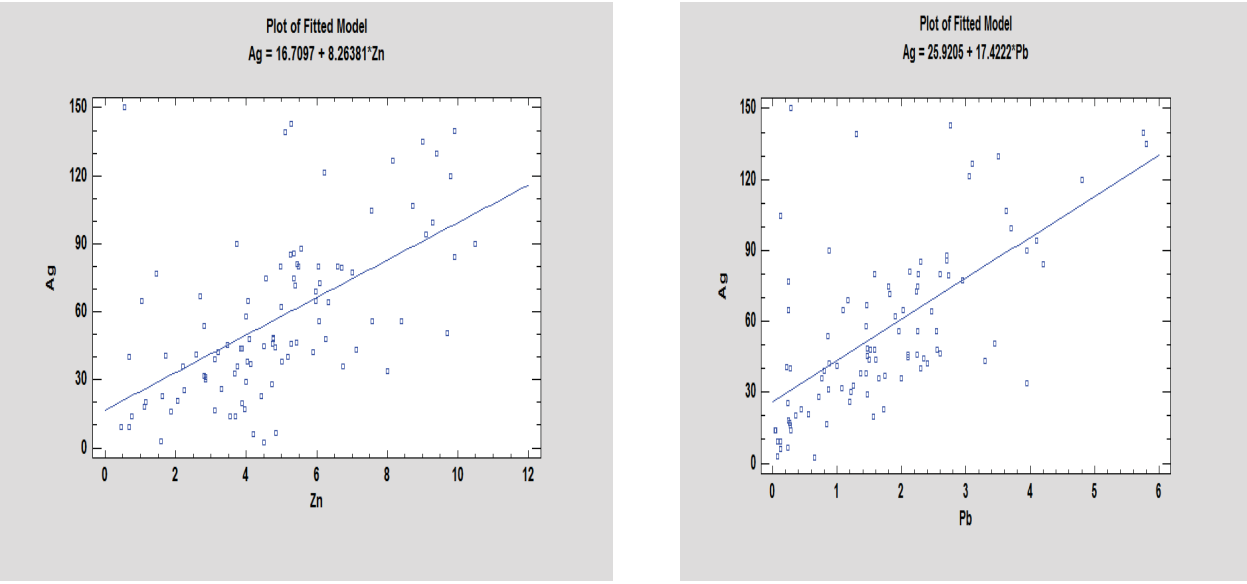
	Zn	Pb	S	Au	Ag	Bi	Cd	Sb	As
Cu	-0.4092	-0.3148	-0.0508	0.0131	0.0859	-0.0132	-0.4140	-0.1902	-0.1793
Zn		**0.8642**	**0.3730**	-0.1027	**0.5683**	0.0048	**0.7899**	**0.5348**	**0.4304**
Pb			**0.4023**	0.0093	**0.6277**	0.1030	**0.6163**	**0.6584**	**0.5256**
S				-0.0594	**0.2210**	-0.1766	**0.2449**	**0.3580**	0.1726
Au					0.0498	**0.3384**	-0.0450	0.1324	0.0848
Ag						0.0812	**0.4756**	**0.3803**	**0.2811**
Bi							0.0623	**0.2020**	**0.2321**
Cd								**0.4628**	**0.3809**
Sb									**0.6628**

Примечание. *Значимые величины коэффициентов корреляции выделены.*

Висмут относится к типоморфным примесям руд исследуемого месторождения. Присутствуют несколько собственных минералов элемента. По классам крупности относительно запасов висмута в рудах Филизчайское колчеданно-полиметаллическое месторождение по масштабу, по мнению Н.А. Новрузова [17], вполне соответствует крупным висмутсодержащим месторождениям. Среди рудосоставляющих минералов наибольшее содержание висмута приурочено к сульфиду свинца. В колчеданно-полиметаллических рудах между концентрациями висмута и свинца отмечена слабая корреляционная связь, а уравнение регрессии между ними имеет следующее значение: Bi = 68,8874 + 3,3735·Pb.

Сурьма и **мышьяк** – повсеместно встречающиеся примесные компоненты руд Филизчайского месторождения. При этом мышьяка обычно содержится на порядок больше сурьмы. Наряду с изоморфным нахождением в рудосоставляющих минералах встречаются в многочисленных собственных соединениях (арсенопирит, блеклые руды, бурнонит, буланжерит, гудмундит, джемсонит, менегенит и др.). Между сурьмой и мышьяком установлена высокая корреляционная связь (r = +0,663). Существует значимый коэффициент корреляции этих элементов с цинком, свинцом, серебром, висмутом и кадмием (*табл. 3*).

Кобальт и **никель** являются типоморфными элементами-примесями руд Филизчайского месторождения. Наибольшие содержания их приурочены к сплошным серноколчеданным и медно-пирроти-



а) *б)*

Рис. 7. **Графическое изображение адаптивной модели**

Ag = 25,9205 + 17,4222·Pb (а) и Ag = 16,7097 + 8,2638·Zn (б)

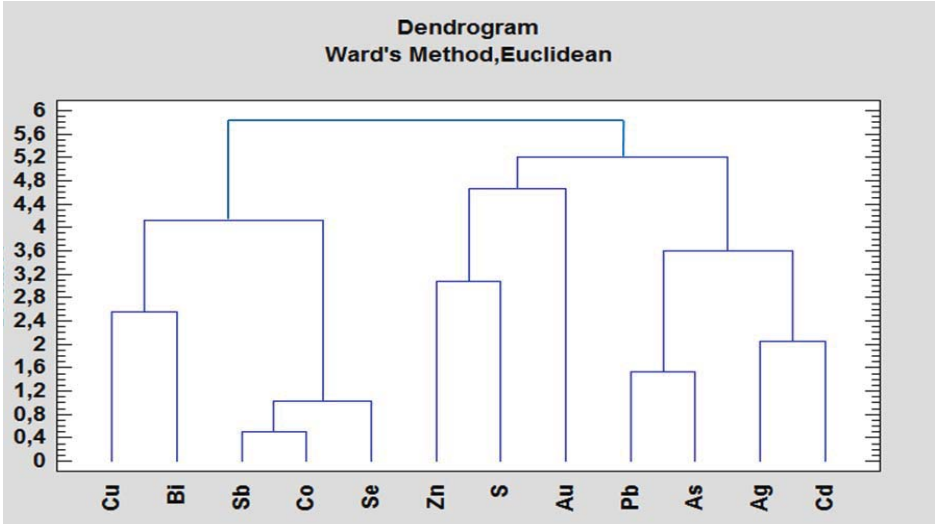


Рис. 8. **Корреляционная зависимость между элементами в колчеданно-полиметаллических рудах Филизчайского месторождения**

новым рудам. Дисульфид железа из этих типов руд также имеет наибольшие концентрации кобальта и никеля. В рудах месторождения кобальт присутствует также в индивидуализированных минералах (кобальтин, линнеит). По мнению Б. Цамбела и Я. Ярковского [21], в гидротермальных пиритах и пирротинах наблюдается преобладание кобальта над никелем, а в пиритах сингенетично-осадочного генезиса обычно содержание никеля преобладает над количеством кобальта.

К характерным примесям изученных руд относится также **марганец,** содержание которого в единичных пробах колчеданно-полиметаллических руд достигает величины более одного процента. К типоморфным примесным компонентам слоисто-полосчатых руд колчеданно-полиметаллического состава относится также **олово**, которое наряду с изоморфизмом в сульфидах месторождения образует собственный минерал (станнин). Присутствующий в рудах молибден характеризуется узким пределом содержаний.

Ртуть, являясь характерной примесью исследуемых руд, распределена крайне неравномерно. Сравнительно повышенные содержания ртути в этих рудах связаны с присутствием блеклых руд, обычно содержащих самые высокие концентрации ртути, а также с широким развитием сульфида цинка.

По результатам проводимого корреляционного анализа рассматривалась возможность группирования геохимических данных методом кластерного анализа. С помощью последнего в колчеданно-полиметаллических рудах Филизчайского месторождения выделена группа элементов, характеризующихся определенной теснотой связи. Как видно из иерархической дендограммы R-типа (*рис. 8*), цинк обнаруживает тесную корреляционную связь со свинцом (r = + 0,864). Связь меди с цинком и свинцом отрицательная (соответственно $r_{Cu,Zn}$ = - 0,409, $r_{Cu,Pb}$ = - 0,315). Вероятно, это является еще одним доказательством формирования свинцово-цинковой и медной минерализаций на различных стадиях процесса рудообразования. По величине коэффициентов корреляции с помощью кластер-анализа в колчеданно-полиметаллических рудах рассматриваемого месторождения выявлены две ассоциации элементов: Cu-Bi-Sb-Co-Se, Zn-S-Au-Pb-As-Ag-Cd.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, Филизчайское колчеданно-полиметаллическое месторождение по минеральному составу руд является типичным колчеданным. В зависимости от преобладания рудосоставляющих сульфидных минералов на месторождении выделяются два минералогического типа руд: колчеданно-полиметаллический и медно-пирротиновый. Главными текстурными типами этих руд являются слоисто-полосчатый, массивный и пятнисто-вкрапленный. В колчеданно-полиметаллических рудах месторождения выявлены следующие последовательно образованные парагенетические минеральные ассоциации: ранняя пиритовая; пирит-арсенопиритовая; сфалерит-галенитовая; поздняя пиритовая; халькопирит-тетраэдритовая; сульфоантимонидная; ассоциация теллуридов, а в медно-пирротиновых рудах – минеральные ассоциации: магнетит-сидеритовая; халькопирит-пирротиновая; пирит-хлоритовая. Важнейшими промышленными компонентами руд являются цинк, свинец, медь и серебра, при этом преобладает цинк. На основе кластерного анализа выяснено, что цинк обнаруживает тесную корреляционную связь со свинцом (r = +0,864). Связь меди с цинком и свинцом отрицательная (соответственно $r_{Cu,Zn}$ = -0,409, $r_{Cu,Pb}$ = -0,315), что является доказательством формирования свинцово-цинковой и медной минерализаций на различных стадиях процесса рудообразования. По величине коэффициентов корреляции с помощью кластер-анализа в колчеданно-полиметаллических рудах рассматриваемого месторождения выявлены две ассоциации элементов: Cu-Bi-Sb-Co-Se, Zn-S-Au-Pb-As-Ag-Cd. Итак, многокомпонентные руды стратиформного колчеданно-полиметаллического месторождения Филизчай, находящегося в колчеданоносной провинции Южного склона Большого Кавказа, характеризуются специфическими минералого-геохимическими особенностями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агаев С.А., Велизаде С.Ф., Новрузов Н.А. *Свинцово-цинковые месторождения Южного склона Большого Кавказа / В кн.: Геология Азербайджана, т. 6. Полезные ископаемые. – Баку: Nafta-Press. 2005. С. 159–201.*

2. Бабазаде В.М., Агаев С.А. *Особенности структурных условий локализации и морфологии рудной залежи Филизчайского месторождения // Вестник БГУ. сер.естественных наук. 1999. № 1. С. 91–108.*

3. Бабазаде В.М., Агаев С.А., Челаби Г.А., Акберов М.А. *Свинец и цинк. Металлогеническаяпровинциция Большого Кавказа / Минерально-сырьевые ресурсы Азербайджана. – Баку: Озан. 2005. С. 294–340.*

4. Курбанов Н.К. *Условия формирования и закономерности размещения стратиформных колчеданно-полиметаллических месторождений терригенных эвгиосинклиналей (на примере альпийской провинции Большого Кавказа). Автореф. дис. … докт. геол.-мин наук. М.: 1986. 46 с.*

5. Гурбанов А.Г., Туаев О.П., Газеев В.М. и др*. Полиметаллическое и золото-сульфидно-кварцевое с ЭПГ оруденение в тоар-ааленских углеродисто-терригенных флишоидных (черносланцевых) толщах Фиагдон-Терской металлогенической подзоны Самуро-Белореченской металлогенической зоны (Северный Кавказ) // Вестник ВНЦ РАН. 2020. Т. 20. № 3. С. 59–69.*

6. 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.*

7. Нагиев В.Н. *Рудные месторождения Азербайджанской Республики. – Баку: Элм. 2007.С. 125–144.*

8. Юсифов Н.Ш. *Текстурные типы и минеральный состав руд Филизчайского месторождения. Автореф.дис. ... канд.геол.-мин. наук. Баку. 1969. 34 с.*

9. Кашкай М.А. и др. *Геохимия и минералогия колчеданных месторождений Южного склона Большого Кавказа. – Баку: Элм. 1979. 208 с.*

10. Злотник-Хоткевич А.Г. *Вещественный состав и генезис Филизчайского колчеданно-полиметаллического месторождения на Южном склоне Большого Кавказа. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: 1970. 24 с.*

11. Алиев А.А. *Стуктурные взаимоотношения минералов и глобулярные образования пирита в рудах Филизчайского колчеданно-полиметаллического месторождения / Минералогия и рудные месторождения. – Баку: Элм. 1974. С. 135–146.*

12. Новрузов Н.А. *Геохимия редких элементов колчеданно-полиметаллических месторождений Южного склона Большого Кавказа на примере Филизчайского месторождения. Автореф. дис. … канд. геол.-мин. наук. Баку. 1968. 21 с.*

13. Новрузов Н.А. *Геохимия стратиформных колчеданных месторождений Восточного сегмента Большого Кавказа. – Баку: Nafta-Press. 2016. 299 с.*

14. Ингерсон Е. *Методы и проблемы геологической термометрии / Проблемы рудных месторождений.– Москва: ИЛ. 1958. С. 309–374.*

15. Смирнов С.С. *Зона окисления сульфидных месторождений. – М.: Изд-во АН СССР. 1951. 335 с.*

16. Новрузов Н.А., Саттарзаде Н.А. *К распределению элементов-примесей в продуктах обогащения руд Филизчайского месторождения // Вестник БГУ. Сер. естественных наук, 2018. № 3. С. 73–76.*

17. Новрузов Н.А. *Редкие и рассеянные металлы / Геология Азербайджана, т.6. Полезные ископаемые. – Баку: Nafta-Press. 2005. С. 335–343.*

18. Novruzov N.A. *Mineralocical-geochemical peculiarities of ores in pyritaceous deposits of Filizchai type in the Greater Caucasus // International Journal of Economic and Environment Geology. Pakistan. 2010. V. 1(2). P. 25–29.*

19. Novruzov N.A. *The Geochemical Features of Terrigenous Host Rocks at Massive Sulfide Deposits in the Eastern Caucasus // LITHOLOGY AND MINERAL RESOURCES.2011.V. 46. Issue: 5.P. 419-426/ DOI: 10.1134/S0024490211050063*

20. Novruzov N.A. *Admixture-elements and their use as geochemical indicators for search of buried pyrite ores in the Greater Caucasus (Azerbaijan) // IRANIAN JOURNAL OF EARTH SCIENCES. 2011.V. 3. Is. 2. P. 91–97.*

21. Цамбел Б., Ярковский Я. *Геохимия кобальта и никеля в пиротинах различных генетических типов / Распространенность элементов в земной коре. – М.: Мир. 1972.С.122–138.*

REFERENCES

1. Agaev C.A., Velizade S.F., Novruzov N.A. Svincovo-cinkovye mestorozhdeniya YUzhnogo sklona Bol'shogo Kavkaza / V kn.: Geologiya Azerbajdzhana, t. 6. Poleznye iskopaemye. – Baku: Nafta-Press. 2005. S. 159–201.

2. Babazade V.M., Agaev S.A. Osobennosti strukturnyh uslovij lokalizacii i morfologii rudnoj zalezhi Filizchajskogo mestorozhdeniya // Vestnik BGU. ser.estestvennyh nauk. 1999. № 1. S. 91–108.

3. Babazade V.M., Agaev S.A., CHelabi G.A., Akberov M.A. Svinec i cink. Metallogenicheskayaprovinciciya Bol'shogo Kavkaza / Mineral'no-syr'evye resursy Azerbajdzhana. – Baku: Ozan. 2005. S. 294–340.

4. Kurbanov N.K. Usloviya formirovaniya i zakonomernosti razmeshcheniya stratiformnyh kolchedanno-polimetallicheskih mestorozhdenij terrigennyh evgiosinklinalej (na primere al'pijskoj provincii Bol'shogo Kavkaza). Avtoref. dis. … dokt. geol.-min nauk. M.: 1986. 46 s.

5. Gurbanov A.G., Tuaev O.P., Gazeev V.M. i dr. Polimetallicheskoe i zoloto-sul'fidno-kvarcevoe s EPG orudenenie v toar-aalenskih uglerodisto-terrigennyh flishoidnyh (chernoslancevyh) tolshchah Fiagdon-Terskoj metallogenicheskoj podzony Samuro-Belorechenskoj metallogenicheskoj zony (Severnyj Kavkaz) // Vestnik VNC RAN. 2020. T. 20. № 3. S. 59–69.

6. Smirnov V.I. Sootnosheniya osadochnogo i gidrotermal'nogo processov pri formirovanii kolchedannyh rud v yurskih flishoidah Bol'shogo Kavkaza // Doklady AN SSSR. 1967. T. 177. № 1. S. 179–181.

7. Nagiev V.N. Rudnye mestorozhdeniya Azerbajdzhanskoj Respubliki. – Baku: Elm. 2007.S. 125–144.

8. YUsifov N.SH. Teksturnye tipy i mineral'nyj sostav rud Filizchajskogo mestorozhdeniya. Avtoref.dis. ... kand.geol.-min. nauk. Baku. 1969. 34 s.

9. Kashkaj M.A. i dr. Geohimiya i mineralogiya kolchedannyh mestorozhdenij YUzhnogo sklona Bol'shogo Kavkaza. – Baku: Elm. 1979. 208 s.

10. Zlotnik-Hotkevich A.G. Veshchestvennyj sostav i genezis Filizchajskogo kolchedanno-polimetallicheskogo mestorozhdeniya na YUzhnom sklone Bol'shogo Kavkaza. Avtoref. dis. ... kand. geol.-min. nauk. M.: 1970. 24 s.

11. Aliev A.A. Stukturnye vzaimootnosheniya mineralov i globulyarnye obrazovaniya pirita v rudah Filizchajskogo kolchedanno-polimetallicheskogo mestorozhdeniya / Mineralogiya i rudnye mestorozhdeniya. – Baku: Elm. 1974. S. 135–146.

12. Novruzov N.A. Geohimiya redkih elementov kolchedanno-polimetallicheskih mestorozhdenij YUzhnogo sklona Bol'shogo Kavkaza na primere Filizchajskogo mestorozhdeniya. Avtoref. dis. … kand. geol.-min. nauk. Baku. 1968. 21 s.

13. Novruzov N.A. Geohimiya stratiformnyh kolchedannyh mestorozhdenij Vostochnogo segmenta Bol'shogo Kavkaza. – Baku: Nafta-Press. 2016. 299 s.

14. Ingerson E. Metody i problemy geologicheskoj termometrii / Problemy rudnyh mestorozhdenij.– Moskva: IL. 1958. S. 309–374.

15. Smirnov S.S. Zona okisleniya sul'fidnyh mestorozhdenij. – M.: Izd-vo AN SSSR. 1951. 335 s.

16. Novruzov N.A., Sattarzade N.A. K raspredeleniyu elementov-primesej v produktah obogashcheniya rud Filizchajskogo mestorozhdeniya // Vestnik BGU. Ser. estestvennyh nauk, 2018. № 3. S. 73–76.

17. Novruzov N.A. Redkie i rasseyannye metally / Geologiya Azerbajdzhana, t.6. Poleznye iskopaemye. – Baku: Nafta-Press. 2005. S. 335–343.

18. Novruzov N.A. Mineralocical-geochemical peculiarities of ores in pyritaceous deposits of Filizchai type in the Greater Caucasus // International Journal of Economic and Environment Geology. Pakistan. 2010. V. 1(2). P. 25–29.

19. Novruzov N.A. The Geochemical Features of Terrigenous Host Rocks at Massive Sulfide Deposits in the Eastern Caucasus // LITHOLOGY AND MINERAL RESOURCES.2011.V. 46. Issue: 5.P. 419-426/ DOI: 10.1134/S0024490211050063

20. Novruzov N.A. Admixture-elements and their use as geochemical indicators for search of buried pyrite ores in the Greater Caucasus (Azerbaijan) // IRANIAN JOURNAL OF EARTH SCIENCES. 2011.V. 3. Is. 2. P. 91–97.

21. Cambel B., YArkovskij YA. Geohimiya kobal't a i nikelya v pirrotinah razlichnyh geneticheskih tipov / Rasprostranennost' elementov v zemnoj kore. – M.: Mir. 1972.S.122–138.