

ПОВЕДЕНИЕ ЗОЛОТА В МЕДНОКОЛЧЕДАНЫХ РУДАХ ГЫЗЫЛБУЛАГСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (МАЛЫЙ КАВКАЗ)

Г.С.Гусейнов

*Министерство Экологии и Природных Ресурсов
AZ 1073, Баку, ул. В.Агаева, 100А*

Аналитические и микроскопические исследования показали, что медноколчеданные руды Гызылбулагского месторождения содержат золото. Неравномерное распределение золота в различных типах руд и мономинеральных фракциях основных сульфидных минералов (пирит, халькопирит, сфалерит), а также сростание его с пиритом и халькопиритом и гранулометрический состав самородного золота (0,001-2,00 мм) позволяют предположить, что золото в месторождении образовалось в двух генерациях. Золото первой генерации отмечается в раннем в пирите в тонкодисперсном состоянии, а вторая генерация его связана с поздними процессами минералообразования.

Содержание золота в рудах медноколчеданных месторождений обычно во много раз превышает его кларк в горных породах, но оно гораздо ниже, чем в собственно золоторудных месторождениях. Если учитывать большой объем рудной массы колчеданных месторождений, последние считаются одними из перспективных источников дополнительного получения золота. Поэтому изучение золотоносности колчеданных руд представляет собой большой научный и практический интерес.

В настоящей статье рассматриваются вопросы распределения сопутствующей золотой минерализации в медноколчеданных рудах Гызылбулагского месторождения. Месторождение расположено в зоне сопряжения Агдамского и Гарабахского антиклинориев и приурочено к центральной части Дромбонской вулканокупольной структуры, представляющей собой сильно эродированный стратовулкан. В геологическом строении принимают участие батского возраста лаво-пирокласические отложения андезибазальтового и в меньшей мере дацитриодацитового составов. Из интрузивных образований на месторождении отмечаются кварцевые диориты. Основной рудоконтролирующей структурой месторождения является глубинный Гызылбулагский разлом субмеридионального простирания, падающий на восток под углом 55-60°. Рудная залежь имеет форму вогнутой линзы и локализована среди гидротермально-измененных сульфидизированных лав дацитриодацитов, которые на нижних горизонтах месторождения сменяются пропилитизированными андезибазальтами и андезитами.

Минеральный состав и текстурно-структурные особенности руд являются важными источниками информации об условиях фор-

мирования месторождения, времени осаждения золота и его пространственной связи с определенными минералами и минеральными ассоциациями. Поэтому детальное изучение вышеуказанных особенностей руд имеет большое практическое значение при определении степени золотоносности колчеданных руд названного месторождения. Установлено, что на данном месторождении главными рудообразующими минералами являются пирит, халькопирит, второстепенными – сфалерит, арсенопирит и галенит, а из жильных – кальцит, кварц и барит. Текстуры руд преимущественно массивные, прожилково-вкрапленные и гнездовые. Структура руд аллотриоморфно-зернистая, гипидиоморфнозернистая. Выделяются кварц-пиритовая, кварц-пирит-халькопиритовая, кварц-халькопиритовая, халькопирит-сфалеритовая и кварц-карбонатная стадии минералообразования.

Для изучения золотоносности и характера распределения золота в медноколчеданных рудах Гызылбулагского месторождения нами были использованы результаты пробирного и различного химического анализа проб, отобранных из подземных горных выработок, керн буровых скважин, а также специально подобранная коллекция аншлифов и шлихи из протолок рудных проб.

По данным результатов многочисленных анализов установлено, что все перечисленные минеральные ассоциации и мономинеральные фракции основных сульфидных минералов (пирит, халькопирит, сфалерит) являются в той или иной степени золотоносными. Содержание и характер распределения золота в каждом типе руд и мономинеральных фракциях различные (табл. 1).

Таблица 1

| Типы руд | Кол-во проб | Предел содержания Au, у.е. | Среднее содер. Au, у.е. | Среднеквадратичное отклонение, у.е. |
|-----------------------------|-------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| Минеральные ассоциации: | | | | |
| Кварц-пиритовая | 46 | 0,1-1,0 | 0,6 | - |
| Кварц-пирит-халькопиритовая | 294 | 06-80,0 | 2,8 | 9,82 |
| Кварц-халькопиритовая | 122 | 3,0-42,0 | 9,1 | 8,84 |
| Халькопирит-сфалеритовая | 160 | 01-80,0 | 5,9 | 14,40 |
| Кварц-карбонат | 60 | сл-08 | 0,1 | - |
| Мономинералы: | | | | |
| Пирит | 28 | 01-11,0 | 1,6 | - |
| Халькопирит | 26 | 03-44,5 | 6,2 | - |
| Сфалерит | 23 | 01-26,0 | 2,8 | - |

В кварц-пиритовых рудах содержание золота невысокое и находится в пирите в тонко-дисперсном состоянии. Кварц-пирит-халькопиритовая минеральная ассоциация занимает секущее положение по отношению к полям развития ранних кварц-пиритовых ассоциаций. Согласно Т.Н.Шадлуну (1950), Н.В.Петровской (1960) и др. исследователям, данная минеральная ассоциация образовалась на втором рудном этапе минералообразования, когда переотложение золота оказалось ведущим процессом, способствующим золотонности медноколчеданных руд. Источником золота, вероятно, послужили ранее образованные, впоследствии раздробленные и перекристаллизованные серноколчеданные руды. Повышенная концентрация золота (9,1 у.е.) отмечается на кварц-халькопиритовой стадии минерализации, которая широко развита непосредственно около рудоподводящего канала в виде штокверка и накладывается на ранее образованные колчеданные руды после межэтапного дробления, рассланцевания и метаморфизма руд. Халькопирит-сфалеритовые руды содержат золото в широком диапазоне – 0,1-80 у.е. (в среднем 5,9 у.е.).

Следует заметить, что кроме кварц-пиритовых руд во всех вышеперечисленных минеральных ассоциациях основными носителями золота являются халькопирит и, возможно, сфалерит, о чём свидетельствует золотонность мономинеральных фракций халькопирита и сфалерита, составляющих в среднем 6,2 у.е. и 2,8 у.е. соответственно. Также уместно отметить, что в кварц-халькопиритовых рудах наблюдается увеличение среднего размера частиц самородного золота. Это, по-видимому, связано с переотложением и укрупнением раннего мелкого и

тонкодисперсного золота кварц-пиритовой ассоциации (Баба-заде и др., 2002).

На основании полученных данных построены гистограммы распределения золота по каждой минеральной ассоциации и мономинеральной фракции отдельно (рис. 1 и 2).

Гистограммы распределения содержания золота в кварц-пирит-халькопиритовых рудах показали, что максимум соответствует интервалам 2-5 у.е. и составляет 33% по золоту. По кварц-халькопиритовой минеральной ассоциации отмечаются два максимума (рис. 1), соответствующие интервалам 2-5 у.е. и 5-10 у.е. и составляющие 32% по золоту. Это ещё раз подтверждает, что на данном месторождении основными золотоносителями являются кварц-халькопиритовые руды. Пик содержания золота по халькопирит-сфалеритовой минеральной ассоциации согласно гистограмме соответствует интервалам 0,1-2 у.е. и, как видно из рис. 1, составляет 49 % по золоту.

Как было отмечено выше, мономинеральные фракции основных сульфидных минералов (пирит, халькопирит, сфалерит) являются золотосодержащими. Но результаты анализов показали, что повышенные содержания золота отмечаются только в халькопирите (6,2 у.е.). Это объясняется тем, что золото представлено микровключениями собственных минералов и повышение его в сульфидах тесно связано с принадлежностью последних к определённой минеральной ассоциации и прямо согласуется с повышением содержаний соответствующих элементов в рудах. Поэтому наибольшее содержание золота свойственно халькопиритам (Гусейнов, 1986).

На основании результатов проанализированных проб мономинеральных фракций построены гистограммы (рис. 2).

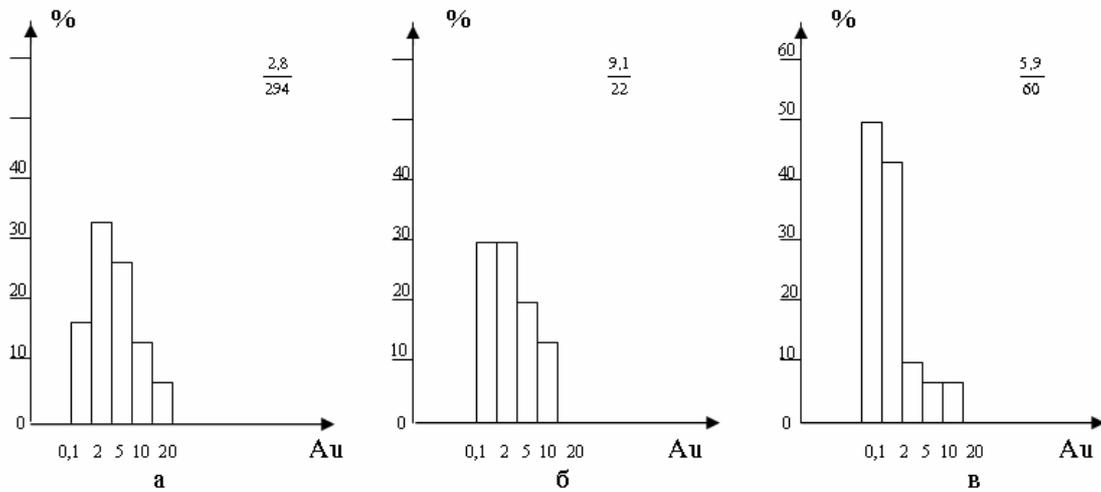


Рис. 1. Гистограммы распределения содержания золота в различных типах руд Гызылбулагского месторождения по данным пробирного анализа: а – кварц-пирит-халькопиритовые; б – кварц-халькопиритовые; в – халькопирит-сфалеритовые. По оси абсцисс – класс содержаний в у.е.; по оси ординат – частота встречаемости в %. В дроби: числитель – среднеарифметическое содержание в у.е. ; знаменатель – число проанализированных проб.

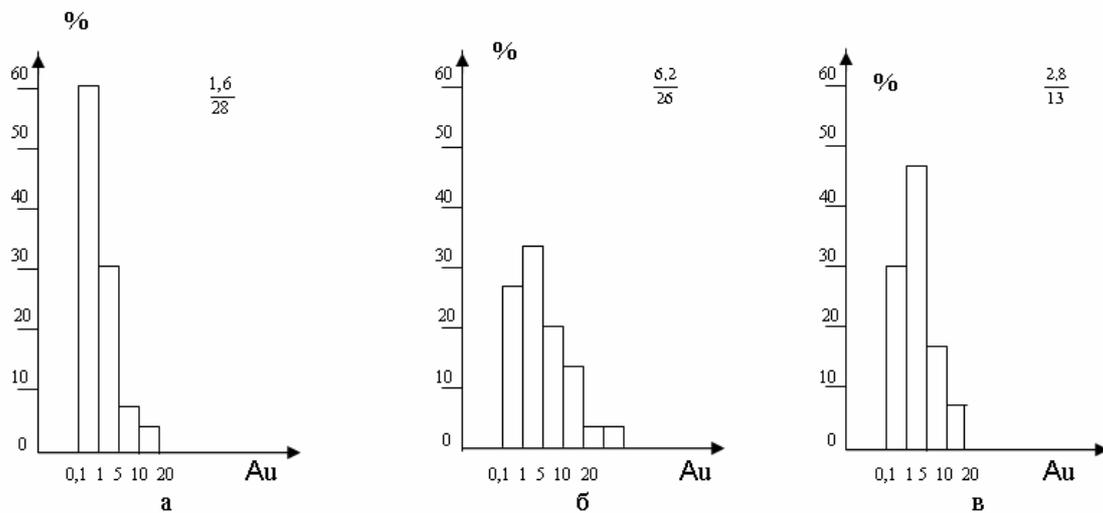


Рис. 2. Гистограммы распределения содержания золота в мономинеральных фракциях основных сульфидных минералов по данным атомно-абсорбционной спектрометрии: а – пирит; б – халькопирит; в – сфалерит; по оси абсцисс – класс содержаний Au в у.е.; по оси ординат – частота встречаемости в % . В дроби: числитель – среднеарифметическое содержание в у.е.; знаменатель – число проанализированных проб.

Как видно из рис. 2, пики на гистограмме отмечаются при содержании золота 0,1 – 1 у.е. в пирите, 1-5 у.е. в халькопирите и сфалерите, что соответствует соответственно 58,7, 36 и 45%. Отмечается одномодальное распределение золота в халькопирите, что указывает на принадлежность золота из халькопирита к одной статистической совокупности, характеризующейся единой стадией минералообразования.

Формы выделения и местонахождение. Микроскопическими исследованиями установлено, что золото в рудах месторождения находится в самородном состоянии и имеет различные формы выделения. Золотины, локализованные внутри халькопирита и пирита, имеют, как правило, каплевидные, округлые и овальные формы выделения. Золото, имеющее неправильные формы выделе-

ния, как известно (Петровская, 1973), всегда находится в сростании с рудообразующими минералами, в том числе пиритом, арсенопиритом, халькопиритом, сфалеритом и блеклыми рудами. Аналогичные особенности самородного золота отмечаются в некоторых аншлифах описываемого месторождения. В виде неправильного выделения самородное золото наблюдается в сростании с пирит-кварцем, пирит-халькопиритом и халькопирит-кварцем (рис.3).

Также имеются золотины в виде тонких прожилок, заполняющие трещины в кварце и халькопирите, что дает основание предполагать более позднее его образование (Гусейнов, 1988). Выделенное самородное золото из проб протолок, как правило, имеет сильно уплощенную форму. Часто встречаются комковидные, лепешковидные (как результат уплощения изометричных золотинок) и жилковидно-пластинчатые формы выделения. Индивидуальные золотины в плане обнаруживают неясные признаки дендритовидного строения, расщепляясь на отдельные ветви. К сожалению, нет полной уверенности в том, что уплощение не связано хотя бы частично с деформацией золотинок при дроблении проб. Изредка встречаются изометричные и близкие к октаэдру формы. Последняя, как известно (Шафрановский,

Малкова, 1950), является для золота равновесной формой и образована гранями с наиболее высокой ретикулярной плотностью.

Гранулометрический состав золота.

Крупность золота является одним из основных факторов, определяющих технологическую схему переработки золотосодержащих руд. Поэтому изучение гранулометрического состава самородного золота имеет большой практический интерес при технологических процессах. С этой точки зрения изучение гранулометрического состава самородного золота Гызылбулагского месторождения имеет важное значение. Изучением гранулометрического состава золота в аншлифах и рудных протоках установлено, что в аншлифах размерность их колеблется от 15 до 20 мкм. Учитывая, что вероятность обнаружения крупных частиц в аншлифах низка, можно считать, что приведенные размеры отклоняются от средних в меньшую сторону и среднестатистические размеры золота составляют в действительности 40-50 мкм (с учетом его данных, полученных по пробам-протокам). Размер частиц золота, извлеченного из проб-протолок, колеблется от 0,1 до 2,0 мм и более. Эти размеры, конечно, не являются в полной мере представительными, поскольку наиболее мелкие частицы при дроблении и промывке не извлекаются.

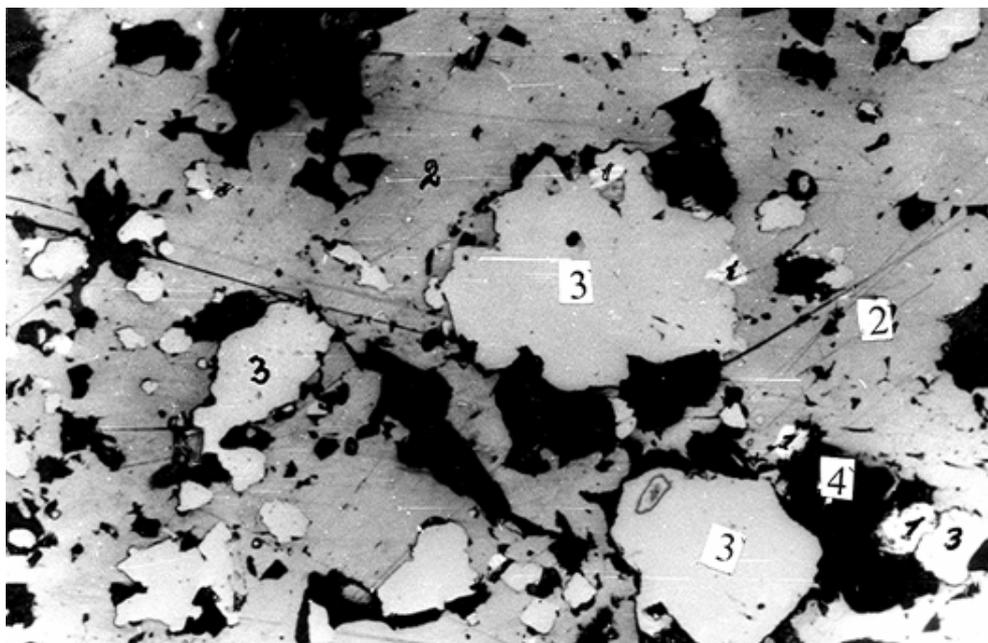


Рис. 3. Местонахождение и формы выделения самородного золота.
1 – золото; 2 – халькопирит; 3 – пирит; 4 – кварц

Таким образом, распределение золота в различных типах руд и мономинеральных фракциях, местонахождение золота и взаимоотношение его с основными сульфидными минералами (пирит, халькопирит, сфалерит) и кварцем, а также гранулометрический состав самородного золота позволяют предполагать, что золото в Гызылбулагском месторождении имеет две генерации: золото первой генерации, кристаллизовавшееся синхронно с ранними сульфидами, главным образом с пиритом, рассеяно в них в тонкодисперсном состоянии; основная масса золота второй генерации сформировалась близко по времени с халькопиритом в позднюю кварц-халькопиритовую стадию минерализации. Необходимо отметить, что каждая последующая генерация золота, вероятно, связана частично с переотложением раннего золота.

Элементы – примеси. Распространенность и степень концентрации примесей в самородном золоте зависят как от формационной принадлежности месторождения, так и от геохимической специфики региона (Николаева, 1978).

Эмиссионным спектральным микроанализом (по методике И.П.Ланцева) установлено, что самородное золото Гызылбулагского месторождения содержит нижеследующие элементы-примеси: 16-18% Ag, 0,18-0,20% Cu, 0,057-0,070% Fe, 0,0001% Mn, реже Hg (0,1%), Sb (0,0002%) и As (0,00015%). Как видно, из элементов-примесей в самородном золоте наиболее высокие концентрации характерны для Cu и Fe, остальные элементы содержатся от тысячных до сотых долей процента.

Как известно, серебро и медь являются постоянными спутниками золота, с которыми золото образует твердые растворы (Петровская, 1973). А повышенная их концентрация в самородном золоте зависит от ряда факторов, в том числе от температуры, состава гидротермальных растворов и от параметров Eh-pH в период минералообразования.

Химический состав золота. Определение атомно-абсорбционным методом состава золотинок из проб-протолок позволило установить, что проба золота колеблется от 652 до 953 ‰, составляя в среднем 819 ‰ по 25 определениям. Модальное значение попадает в диапазон 800-900 ‰ (рис.4), соответствующую

умеренно-высокопробному золоту по классификации (Петровская, 1973).

Технологическими исследованиями установлено (Ахмедов и др., 1988), что приблизительно 92 % золота, содержащегося в рудах Гызылбулагского месторождения, находится в самородном состоянии и лишь 5,1 % извлекается из сульфидов после их растворения.

По данным фазового анализа в ассоциации с сульфидами находится около 67 % золота, 17,2 % составляет свободное золото, извлекаемое амальгамацией, только 3,5 % золота заключено в силикатах и в кварце и не вскрывается при измельчении руды до 0,074 мм. По результатам фазового анализа на данном месторождении установлена пробность золота 867 ‰.

Следует отметить, что изучение химического состава золота затрудняется тем, что его состав по месторождению и в отдельном рудном теле изменчивый. Поэтому, чтобы получить представление о среднем составе самородного золота по месторождению, следует проанализировать большое число золотинок, иначе результаты могут оказаться случайными.

Чтобы уточнить пробность золота в изученном месторождении было использовано определенное количество золотинок, извлеченных из протолок рудных проб. Химический состав каждой золотины определен микрондовым анализом в отдельности (таб. 2).

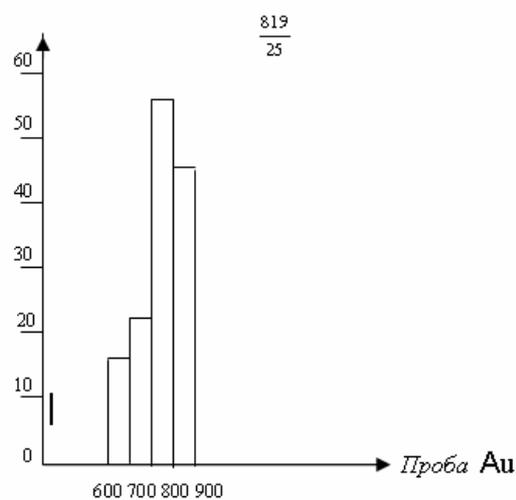


Рис. 4. Гистограмма распределения пробы золота по данным атомно-абсорбционной спектрометрии. По оси абсцисс – проба золота; по оси ординат – частота встречаемости в % отн. В дробной форме: числитель – пробность (среднеарифметическое); знаменатель – количество анализов.

Таблица 2

| № | Au | Ag | Hg | Пробность Au |
|----|-------|-------|------|--------------|
| 1 | 99,35 | 0,62 | 0 | 99,97 |
| 2 | 93,75 | 3,50 | 0 | 97,25 |
| 3 | 72,0 | 25,30 | 0,14 | 97,44 |
| 4 | 76,70 | 23,75 | 0 | 100,45 |
| 5 | 84,61 | 13,83 | 0 | 98,44 |
| 6 | 78,64 | 21,12 | 0,1 | 99,86 |
| 7 | 96,50 | 3,75 | 0,74 | 100,99 |
| 8 | 89,62 | 9,10 | 0 | 98,72 |
| 9 | 91,76 | 7,73 | 0 | 99,49 |
| 10 | 79,50 | 19,75 | 0 | 99,25 |
| 11 | 98,15 | 1,50 | 0,11 | 99,76 |

Как видно из табл. 2, полученные суммы элементов большинства анализов близки к 100 %, а содержание золота близко или же соответствует пробе золотин, которая колеблется от 720 до 993 ‰. При этом следует учесть, что анализы № 1,7,11 относятся к коррозийным высокопробным оболочкам гипергенного происхождения, поэтому среднее значение пробы составляет около 840 ‰, т.е. близко к значению, рассчитанному по данным фазового анализа (867‰). Несоответствие в содержании примесей между данными эмиссионного спектрального микроанализа и микрозондового анализов объясняется тем, что в первом случае в анализируемую пробу попадают микрочастицы минералов продуктивного парагенезиса (Cu, Fe), располагающиеся на поверхности золотин. Что касается марганца, то его содержание существенно ниже уровня, детектируемого микрозондовым анализом.

Также была изучена пробность самородного золота на разных гипсометрических уровнях месторождения.

По результатам анализов проб, отобранных по вертикальному разрезу рудного тела, выявлена минералогическая зональность. В соответствии с минералогической зональностью изменяется пробность золота (Гришин, Косяк, 1968). Эта закономерность находит свое подтверждение в описываемом месторождении. Самородное золото, находящееся в рудах верхнего горизонта (горизонт-755 м) месторождения, является низкопробным (650-780 ‰) и содержит ряд легколетучих элементов-примесей (Hg, Sb и As). Содержание меди, как элемента-примеси, в са-

мородном золоте невысокое (0,06-0,9 ‰). На нижнем горизонте (горизонт-725 м) отмечается более высокая пробность золота (830-850‰), и обращает на себя внимание тот факт, что в самородном золоте практически полностью отсутствуют вышеперечисленные легколетучие (Hg, Sb и As) элементы-примеси. Одновременно с этим концентрация меди в самородном золоте заметно увеличивается (0,18-0,20%). По видимому, обогащение золота медью произошло в результате диффузионного обмена между золотом и вмещающими минералами.

Не исключено и влияние на пробность золота пострудного термального метаморфизма, обусловленного внедрением даек андезибазальтов, наблюдаемым в районе нижнего горизонта.

Кроме вышеотмеченного, на пробность золота могут влиять величина давления и температура при минералообразовании, а также состав гидротермальных растворов, из которых отложились золотины. К сожалению, наши возможности не позволили определить эти факторы.

Внутреннее строение золота. Изучение особенностей внутреннего строения самородного золота способствует выявлению минералогических критериев, позволяющих судить об образовании золотоносных руд, глубине отложения, стадийности и этапности, наличии пострудных деформаций и истории формирования (Николаева, 1978).

Для определения внутреннего строения самородного золота месторождения были использованы результаты исследований про-

травленных монтированных аншлифов, которые подверглись травлению в парах царской водки раствором хромового ангидрита. По данным оптических исследований выявлено, что золото из Гызылбулагского месторождения однородное.

Такое внутреннее строение характерно для умеренно-высокопробного золота (Петровская, 1973). При детальном изучении состава самородного золота на зонде в отдельных золотилах выявлена зональность.

Таким образом, в результате проведенных исследований изучены характер распределения золота в рудах и типоморфные особенности самородного золота (формы выделения, местонахождения, внутреннее строение, элементы – примеси), которые могут быть использованы как поисковые критерии при геолого-разведочных работах.

Установленные данные о гранулометрии, основных сульфидных минералах, характере сростаний и химическом составе самородного золота имеют важное значение для разработки технологии комплексной переработки золото-содержащих медноколчеданных руд.

ЛИТЕРАТУРА

АХМЕДОВ, А.З. и др., 1988. Разработать технологии обогащения медно-золотых руд Кызылбулагского месторождения с проверкой рекомендуемой схемы

на полупромышленной установке. *Тр. НИГРИ*, Москва, вып.276.

БАБА-ЗАДЕ, В.Г., ГУСЕЙНОВ, Г.С. и др. 2002. Золото в медноколчеданных рудах Кедабекского месторождения (М.Кавказ). *ВЕСТНИК Бакинского университета*. Баку, 1.

ГРИШИН, В.М., КОСЯК, Е.К. 1968. О причинах колебания пробности золота. В.сб.: *Геология, геохимия и минералогия золоторудных районов и месторождений Казахстана*. Алма-Ата, 1.

ГУСЕЙНОВ, Г.С. 1988. Типоморфизм самородного золота в медноколчеданных месторождениях Сомхето-Карабахской зоны Малого Кавказа. В кн.: *Вопросы геологии, поисков, разведки и обогащения минерального сырья цветных, благородных металлов и алмазов*. ЦНИГРИ, Москва.

ГУСЕЙНОВ, Г.С. 1986. Распределение золота и серебра в рудных телах Гызылбулагского месторождения. В кн.: *Разработка прогнозно-оценочных критериев и вопросов освещения месторождений цветных благородных металлов и алмазов*. ЦНИГРИ, Москва.

НИКОЛАЕВА, Л.А. 1978. Генетические особенности самородного золота как критерии при поисках и оценке руд и россыпей. Недра, Москва, 96.

ПЕТРОВСКАЯ, Н.В. 1973. Самородное золото. Наука, Москва, 345.

ШАФРАНОВСКИЙ, И.И., МАЛКОВА, К.М. 1950. О кристаллографии минералов группы меди. *Зап. Всес. минерал. об-ва*, 79, 4.

ПЕТРОВСКАЯ, Н.В. 1961. О минеральных ассоциациях и некоторых условиях формирования колчеданных месторождений Южного Урала. *Геология рудных месторождений*, 12.

ШАДЛУН, Т.Н. 1950. Особенности минералогического состава, структур и текстур некоторых колчеданных месторождений Урала. В кн.: *Колчеданные месторождения Урала*. Москва.

Редколлегия