

УДК 622.7

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИСХОДНЫХ РУД И ПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ ГМЗ-3



В. Д. ЦОЙ,
начальник отдела методики
геологоразведочных работ,
проф., д-р геол.-минерал. наук



С. Е. БУЛИН,
геолог I категории

Институт минеральных ресурсов, Ташкент, Узбекистан



Р. И. УСМАНОВ,
руководитель группы
инновационного центра,
r.usmanov@ngmk.uz



А. Б. ХВАН,
ведущий инженер
геологического отдела

ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат», Навои, Узбекистан

Введение

В последнее время в мировой практике горного дела в рамках установки на комплексную и глубокую переработку минерального сырья все интенсивнее развиваются исследования вещественного состава различных минеральных продуктов (руд, концентратов, отходов производства и др.) с помощью самого современного аналитического оборудования [1–14].

Материал настоящей статьи является продолжением исследований по данной тематике, проводимых на ГМЗ-3. В дополнение к ним выполненный анализ носил комплексный характер. Были изучены 12 видов минеральных продуктов (и, соответственно, 12 проб): исходные руды месторождения Кокпатас (проба № 1) и месторождения Даугызтау (№ 2); флотоконцентраты, полученные из руд месторождений Кокпатас (№ 3) и Даугызтау (№ 4); хвосты флотации с этих обоих объектов (№ 5); твердый продукт первичных реакторов установки биоокисления (№ 6); вторичный – окисленный продукт этой установки (№ 7); разгрузка КОВ-1 (№ 8); продукт питания установки КЕМIX (№ 9); хвосты с этой установки (№ 10); пена с реакторов биоокисления (№ 11) и сгущенный продукт нейтрализации (проба № 12).

Статья содержит описание методики и результатов аппаратного анализа вещественного состава различных минеральных продуктов по гидрометаллургическому заводу № 3 (ГМЗ-3) Навоийского комбината.

Ключевые слова: золото, исходные руды, продукты обогащения, биоокисление, концентрат, цианирование, сульфиды, оксиды железа, слюдястые минералы.

DOI: 10.17580/gzh.2018.09.06

Аппаратурные исследования выполняли с использованием рентгеноструктурного фазового анализа на дифрактометре Empyrean (Panalytical), сканирующего электронного микроскопа SEM EVO MA 10 (Carl Zeiss) и с помощью минералогопетрографических методов. Опыты были проведены в лаборатории Центра передовых технологий Узбекистана (аналитики Н. Т. Каттаев и В. Ш. Ялышев). Результаты исследований сравнили с микроскопными данными, полученными традиционным способом.

Ниже приведены результаты аппаратного анализа по отдельным пробам.

Минералогический состав проб

1. Исходная руда месторождения Кокпатас.

Проба представляет собой тонкоизмельченный материал с размером частиц менее 0,07 мм. Цвет темно-серый, окраска однородная.

Рентгеноструктурным фазовым анализом установлены следующие минералы: кварц, кальцит, калиевый полевой шпат, анкерит, хлорит, рутил, палыгорскит, плагиоклаз (Na), анортит, розенит, железосодержащий оксид титана, актинолит, клиноцоизит, минерал группы пироксеноидов, леонит, диопсид, авгит, цоизит.

Судя по анализам, в пробе присутствуют оксиды мышьяка (арсенолит), сурьмы (валентинит), свинца (глет), пирит, кварц и аксессуарный монацит.

Установлен минеральный состав пробы по шлифу: кварц, полевой шпат, карбонат, глинистые минералы, гидроксиды железа, углеродное вещество, биотит (ед. зерна), пирит, серицит, обломки кремнистых пород и серицит-полевошпат-кварцевых метасоматитов.

Рудные минералы в брикете представлены пиритом, арсенопиритом, гетит-гидрогетитом и реже – гематитом. Часто гетит образует псевдоморфозы по пириту кубической формы и раздроблен. Арсенопирит имеет игольчатую форму, нередко подвержен дроблению. Самородное золото в брикете не установлено.

2. Исходная руда месторождения Даугызтау.

Рентгеноструктурным фазовым анализом установлены следующие минералы в пробе: кварц, калиевый полевой шпат, пирит, рутил, гематит, палыгорскит, хлорит, актинолит, альбит, титансодержащий периклаз, клинохлор, альбит.

Минеральный состав пробы, полученный при исследовании шлифа, следующий: кварц, полевой шпат, серицит, карбонат, глинистые минералы, углистое вещество, рудная вкрапленность (пирит).

Рудные минералы, выявленные при исследовании брикета – арсенопирит, пирит, марказит, гетит-гидрогетит, карбонат железа, графит. Арсенопирит имеет таблитчатую форму, располагается в нерудной массе и подвержен дроблению. Пирит имеет кубическую форму. Марказит располагается в центре зерен гетита. Отмечаются сростки мышьяковистого пирита с арсенопиритом. Кроме того, встречаются зерна сидерита, а также графит с характерным коричневатым цветом и сильной анизотропией. Самородное золото в брикете не установлено.

3. Флотоконцентрат, полученный из руды месторождения Кокпатас.

Рентгеноструктурный фазовый анализ выявил следующие минералы: пирит, кварц, питтицит, каолинит, альбит, хлорит, глинизированный полевой шпат.

Содержание золота в отдельной позиции в процессе сканирования составляет 60,12 %, что подтверждается наличием видимого золота (рис. 1).

Минеральный состав пробы, полученный при анализе шлифа, таков: кварц, полевой шпат, серицит, карбонат, глинистые минералы, углистое вещество, обилие рудной вкрапленности (преобладает пирит).

В составе рудных минералов (при анализе брикета) установлены арсенопирит, пирит, гетит-гидрогетит, графит. Содержание сульфидов достигает 10–16 %. Арсенопирит трещиноватый, образует сростки с пиритом, нередко затравлен. В арсенопирите отмечаются включения серого и кремового минерала типа пирротина. В зернах арсенопирита имеются частицы самородного золота округлой формы.

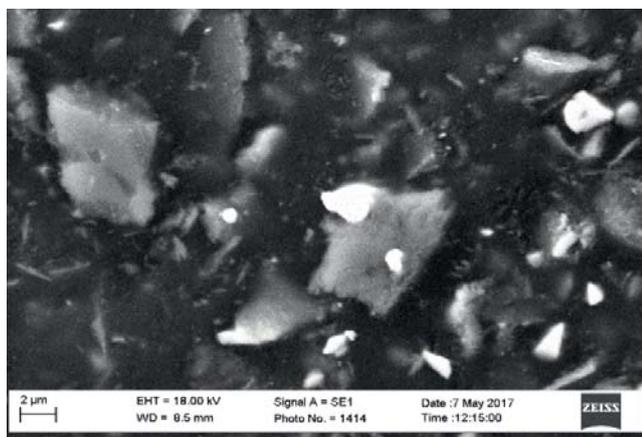


Рис. 1. Самородное золото (белое)

4. Флотоконцентрат, полученный из руды месторождения Даугызтау.

Рентгеноструктурным фазовым анализом установлены следующие минералы: пирит, кварц, гидроксид калия, натрия, алюминия, железа, магния, авгит, астрофиллит, пертит, гидросиликат алюминия, калия, натрия, кальция, титанит, вермикулит, честерит, диопсид, лейкоксен, нефелин.

Минеральный состав пробы, полученный при анализе шлифа, следующий: округлые образования с углистым веществом и сульфидными, серицит (в округлых образованиях вместе с пиритом, углистым веществом, кварцем), карбонат, кварц, полевой шпат, глинистые минералы.

В составе рудных минералов (при анализе брикета) установлены: пирит, арсенопирит, гетит-гидрогетит, графит. Пирит мышьяковистый, слабоанизотропный, кубической формы, часто подвержен дроблению, затравливанию и разложению по трещинкам. Арсенопирит имеет удлиненную форму, трещиноватый. Графит имеет характерные свойства – коричневатый цвет и сильную анизотропию (рис. 2). Гетит встречается вблизи пирита и арсенопирита. Самородное золото в брикете не установлено.

5. Хвосты флотации руд месторождений Кокпатас и Даугызтау.

Рентгеноструктурным фазовым анализом установлены следующие минералы: кварц, калиевый полевой шпат, хлорит, микроклин, гидросиликаты кальция, алюминия, калия, минерал группы пироксеноидов, форстерит.

Минеральный состав пробы, полученный при анализе шлифа, следующий: глинистые минералы, кварц, полевой шпат, карбонаты, серицит по полевому шпату, сульфиды крупностью менее 0,005 мм в глинистом веществе, гидроксиды железа, хлорит (ед. зерна), биотит (ед. зерна).

В составе рудных минералов (при анализе брикета) обнаружены пирит, арсенопирит, гетит-гидрогетит, сидерит. Общее количество сульфидов 1–5 %. Сульфиды (пирит) подвержены разложению, остаются только их реликты. Пирит имеет кубическую и ксеноморфную форму зерен. Встречаются серые зерна таблитчатой формы с низкой отражательной способностью, в скрещенных николях выглядят, как нерудные минералы. Самородное золото при анализе брикета не установлено.

6. Твердый продукт первичных реакторов биоокисления.

Рентгеноструктурный фазовый анализ установил следующие минералы: кварц, калиевый полевой шпат, зорит, плагиоклаз, нефелин, гидроксид железа и калия, хлорит, микроклин, гидросиликаты кальция, алюминия, калия.

Минеральный состав пробы по шлифу следующий: кварц, полевой шпат, серицит, карбонат, сгустки глинистых минералов, рудная вкрапленность (пирит), углистое вещество.

В составе рудных минералов в брикете установлены: пирит, арсенопирит, гематит, графит, халькопирит. Общее количество сульфидов 1–5 %. Пирит имеет кубическую форму, трещиноватый.

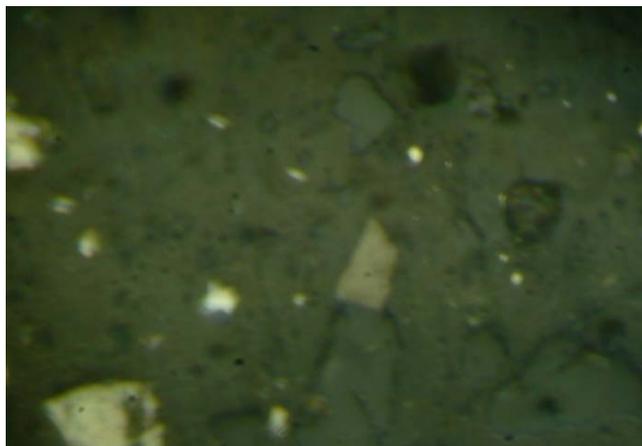


Рис. 2. Графит (коричневатый) рядом с пиритом (желтый)

тый. Арсениопирит треугольной, вытянутой формы, по краям зерен затравлен. Графит отмечается вблизи гематита. Халькопирит имеет характерные свойства: латунно-желтый цвет, слабую анизотропию и отражательную способность ниже пирита. Самородное золото в брикете не установлено.

7. Вторичный окисленный продукт установки биоокисления.

Рентгеноструктурным фазовым анализом установлены следующие минералы в пробе: кварц, пирит, гипс, авгит, сложный гидросиликат калия, натрия, кальция, алюминия, железа, магния, титана, меллилит, мусковит, калиевый полевой шпат, альбит, клиноцоизит, хлорит, микроклин, амезит, титанистый авгит, титанит.

Электронно-микроскопными исследованиями в этой пробе отмечаются характерные элементы породообразующих минералов (кварц, калиевый полевой шпат, серицит, карбонат, глинистые минералы), золото (самородное золото), серебро (примесь в самородном золоте), сурьма (антимонит), медь (халькопирит), редкие земли и фосфор (монацит), свинец (галенит, глет), селен (примесь в галените). Содержание золота в отдельной позиции, по данным электронно-микроскопных исследований, составляет 77,2 %, здесь же установлено самородное золото (**рис. 3**).

Минеральный состав пробы по шлифу показал наличие следующих компонентов: кварц, полевой шпат, серицит, биотит (ед. зерна), карбонат (мало), сгустки глинистого материала с углистыми частицами, хлорит (ед. зерна), рутил, рудная вкрапленность (довольно много – пирит и арсениопирит).

В состав рудных минералов в брикете входят: пирит, графит, гетит, арсениопирит, самородное золото. Общее количество сульфидов 1–5 %. Самородное золото связано с углисто-слюдистой массой. Пирит мышьяковистый, слабоанизотропный, нередко раздробленный, затравленный содержит включения гетита. Графит приурочен к породообразующим минералам, располагаясь внутри их контура.

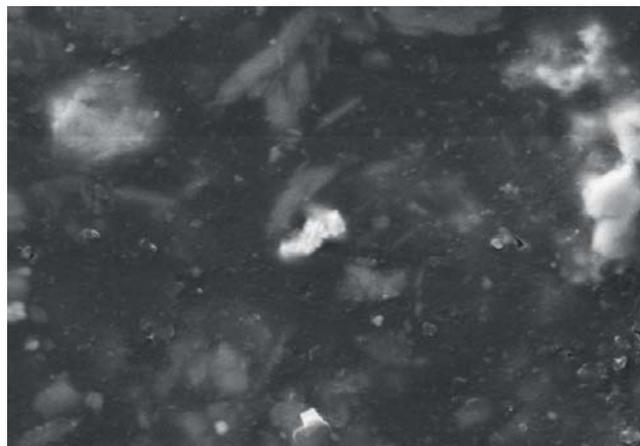


Рис. 3. Самородное золото (яркое белое) в углисто-слюдистой массе

8. Разгрузка КОВ-1.

Рентгеноструктурный фазовый анализ установил следующие минералы в пробе: гипс, кальцит, кварц, гроссуляр, клиноцоизит, доломит, актинолит, скородит.

Электронно-микроскопными исследованиями в этой пробе отмечаются характерные элементы породообразующих минералов (кварц, полевой шпат, серицит, карбонат, глинистые минералы), мышьяк (арсениолит), хром (хромит), свинец (глет) и в незначительных количествах цинк (сфалерит), молибден (ильземанит) и хлор (соли). Золото в этой пробе не установлено.

Минеральный состав пробы по шлифу следующий: кальцит (много, является основным минералом пробы), кварц (очень мало), полевой шпат (очень мало), гидроксиды железа (бурые, желтые, много вкрапленного), сульфиды (ед. зерна).

В составе рудных минералов в брикете установлены: пирит, гетит, лимонит, арсениопирит, самородное золото. Сульфидов заметно меньше чем в предыдущих пробах. Самородное золото низкопробное светлое, связано с карбонатно-слюдистой массой. Пирит окисленный, встречаются фрагменты куба. Гетит-гидрогетит зональный, расположен в лимоните.

9. Питание КЕМIX.

Рентгеноструктурным фазовым анализом установлены следующие минералы: мусковит, кварц, палыгорскит, гипс, кордиерит, гидроксид железа, калия, натрий-калий магний-алюминевый гидросиликат.

Выявлен минеральный состав пробы по шлифу: сгустки глинистых минералов, кварц, полевой шпат, серицит, округлые коричневые оолиты с пустотами, заполненными непонятным материалом, карбонат (реликты), редкая вкрапленность пирита.

В составе рудных минералов в брикете выявлены арсениопирит, пирит, графит, сидерит. Общее количество сульфидов 1 %. Самородное золото не установлено. Пирит подвержен разложению, располагается рядом с графитом.

10. Хвосты КЕМИХ.

Проведенный рентгеноструктурный фазовый анализ пробы установил в ней следующие минералы: кварц, калиевый полевой шпат, плагиоклаз, гидрокарбонат магния и алюминия, палыгорскит, гипс, гидросиликат алюминия, натрия, калия, магния, авгит, мелилит, вермикулит, мусковит, альбит, гидросиликат алюминия, калия, магния.

Минеральный состав пробы по шлифу следующий: кварц, полевой шпат (калиевый полевой шпат), серицит, кальцит, глинистые минералы по полевому шпату, биотит (ед. зерна), обломки кремнистых пород, углистое вещество, пирит (фрагменты куба, пентагондодекаэдра).

В составе рудных минералов в брикете установлены арсенопирит, пирит, графит, гетит, гематит. Арсенопирит часто сростается с пиритом, имеет удлиненную угловатую форму. Пирит мышьяковистый, слабо анизотропный, подвержен разложению, затравливанию. Общее количество сульфидов 1–5 %. Самородное золото не установлено.

11. Пена из реакторов биоокисления.

Рентгеноструктурным фазовым анализом установлены следующие минералы в пробе: кварц, калиевый полевой шпат, ярозит, явапайит, глауконит, авгит.

Электронно-микроскопными исследованиями в этой пробе отмечаются характерные элементы породообразующих минералов (кварц, полевой шпат, серицит, глинистые минералы и немного карбоната), золото и серебро (самородное золото, **рис. 4**), сурьма (антимонит), медь (халькопирит), цирконий (цирккон), хром (фуксит), в незначительных количествах мышьяк (скородит), гафний (примесь в цирконе).

Содержание золота в отдельной позиции, по данным электронно-микроскопных исследований, составляет 88,38 %.

Выявлен следующий минеральный состав пробы по шлифу: углистое вещество в виде овальных, округлых, изометричных скоплений, точечных выделений составляют основную часть

шлифа, редкие зерна полевого шпата с гидроксидами железа, серицита, кварца.

В состав рудных минералов в брикете входят: пирит, графит, марказит, самородное золото, вторичные сульфиды меди. Пирит кубический, трещиноватый, затравленный. Пирит мышьяковистый, слабоанизотропный. Общее количество сульфидов – менее 1 %. Самородное золото располагается вблизи пирита, отличается более высокой отражательной способностью. Самородное золото встречается как высокопробное, густо-желтое, так и относительно низкопробное, светлое. Марказит имеет относительно высокую отражательную способность и характерные кремовый и болотный цвета при скрещенных николях.

12. Сгущенный продукт нейтрализации.

Рентгеноструктурный фазовый анализ пробы установил в ней следующие минералы: тенардит, ангидрит, цеолиты, кианит, гарронит, карпатит, лавсонит, вевеллит.

Электронно-микроскопные исследования выявили наличие в пробе характерных элементов породообразующих минералов, сурьмы (сульфосоль свинца, антимонит), меди (куприт), свинца (реликты галенита, глет), тантала (примесь в слюдах) и в незначительных количествах мышьяка (реликты арсенопирита) и хлора (галит).

Содержание золота в отдельной позиции, по данным электронно-микроскопных исследований, составляет 62,56 %. Здесь же встречается и самородное золото (**рис. 5**).

Минеральный состав пробы по шлифу следующий: гематит в виде кроваво-красных до темно-коричневого зерен, полупрозрачный, просвечивает основной минерал шлифа. Кроме того, отмечаются единичные зерна карбоната, серицита, полевого шпата.

В составе рудных минералов в брикете установлены: пирит, халькопирит, гетит-гидрогетит, самородное золото. Пирит мышьяковистый, слабоанизотропный. Сульфидов мало

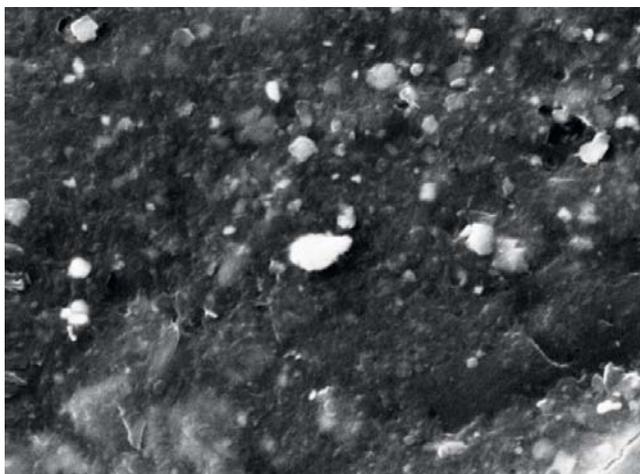


Рис. 4. Самородное золото (белое в центре) в нерудной массе

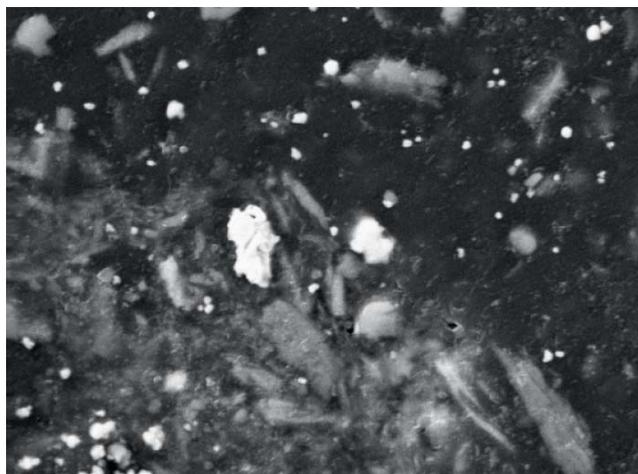


Рис. 5. Самородное золото в нерудной массе

(менее 1 %), много сидерита. Гетит-гидрогетит находится в виде удлиненных ксеноморфных зерен. Самородное золото располагается в нерудной массе и гетите-гидрогетите, имеет густо-желтую окраску, является относительно высокопробным.

Выводы

Самородное золото микронного размера (до 2 мкм) обнаружено под электронным микроскопом в пробах флотоконцентрата, полученного из руды месторождения Кокпатас, вторичном-окисленном продукте установки биоокисления, пене с реакторов биоокисления, нейтрализующем растворе. Рентгеноструктурным фазовым анализом установлены основные породообразующие и рудные минералы. Минераграфическое изучение аншлифов показало наличие единичных знаков самородного золота во флотоконцентрате, полученном из руды месторождения Кокпатас, во вторичном окисленном продукте

биоокисления, в разгрузке КОВ-1, пене, получаемой в реакторах биоокисления, сгущенном продукте нейтрализации. Размер зерен не превышает первых микрон (не более 0,003 мм). Самородное золото отмечается в углисто-сланцевидной массе в свободной форме и в гетите-гидрогетите.

Из рудных минералов во всех пробах преобладают железосодержащие сульфидные формы (пирит, арсенопирит, реже – марказит, халькопирит), гетит-гидрогетит, реже – гематит. В пробах № 2–4, 6, 7, 9–11 установлен графит. В пробах № 5, 9 встречается сидерит. Пирит мышьяковистый, слабоанизотропный.

Почти во всех пробах (за исключением № 11 и 12) остается постоянным содержание минералов группы силикатов, среди этой группы преобладает (в количественном отношении) гидрослюда, отмечаются биотит, хлорит, каолинит. Все эти минералы относятся к группе шламующихся компонентов, затрудняющих процесс обогащения.

Библиографический список

1. Конев Р. И., Халматова Р. А. Некоторые аспекты минералогии, геохимии и генезиса руд месторождений золота Узбекистана // Руды и металлы. 2013. № 2. С. 31–38.
2. Викентьев И. В. Невидимое и микроскопическое золото в пирите: методы исследования и новые данные для колчеданных руд Урала // Геология рудных месторождений. 2015. Т. 57. № 4. С. 267–298.
3. Чантурия В. А. Инновационные процессы комплексной и глубокой переработки минерального сырья природного и техногенного происхождения // Горный журнал. 2015. № 7. С. 29–37. DOI: 10.17580/gzh.2015.07.05
4. Битимбаев М. Ж., Орынгожин Е. С., Джумабаев Е. И. Лабораторные исследования по определению состава руды и пород для корректировки основных параметров технологии интенсивного кучного выщелачивания // Успехи современного естествознания. 2015. № 10. С. 79–85.
5. Зайцев В. А., Зайцева А. В. Расширение аналитических возможностей рентгенофлуоресцентного анализа продуктов металлургического производства драгоценных металлов // Цветные металлы. 2015. № 6. С. 85–90. DOI: 10.17580/tsm.2015.06.17
6. Иванов В. В., Лукашова М. В., Бушарева К. Ю., Земскова Л. А. Исследование золотоуглеродных систем методом сканирующей электронной микроскопии // Цветные металлы. 2016. № 7. С. 38–42. DOI: 10.17580/tsm.2016.07.04
7. Таловина И. В., Александрова Т. Н., Попов О., Либервирт Х. Сравнительный анализ исследования структурно-текстурных характеристик горных пород методами компьютерной рентгеновской микротомографии и количественного микроструктурного анализа // Обогащение руд. 2017. № 3. С. 56–62. DOI: 10.17580/or.2017.03.09
8. Yin Jiangning, Xiao Keyan. Resources potential analysis and metallogenic prospect of Mn resources in China // Geology in China. 2014. Vol. 41, No. 5. P. 1424–1437.
9. Adam M., Asamoah R. K., Ofori-Sarpong G., Amankwah R. K. Preg-robbing Characteristics of Gold Ores in Ghana // 3rd UMaT Biennial International Mining and Mineral Conference. – Tarwa, 2014. P. 192–196.
10. Chen Qishen. Mining Development cycle theory and development trends in Chinese mining // Resources Science. 2015. Vol. 37. No. 5. P. 891–899.
11. Mineral commodity summaries 2015. – Washington: U. S. Geological Survey, 2015. – 199 p.
12. Farley J., Costanza R., Flomenhoft G., Kirk D. The Vermont common assets trust: an institution for sustainable, just and efficient resource allocation // Ecological Economics. 2015. Vol. 109. P. 71–79.
13. Shemyakin V. S., Skopova L. V., Kuzmin V. G., Sokolov I. V. X-ray radiometric processing technology for quartz raw material // Eurasian Mining. 2016. No. 2. P. 20–22. DOI: 10.17580/em.2016.02.05
14. Zhao L.-C., Wang J.-G., Li X., Zhang S., Zhang Z.-F. et al. Application of Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry/Mass Spectrometry to Phase Analysis of Gold Ores // Chinese Journal of Analytical Chemistry. 2018. Vol. 46. Iss. 2. P. 1801–1809. 

«GORNYI ZHURNAL», 2018, № 9, pp. 51–56
DOI: 10.17580/gzh.2018.09.06

Mineralogical and geochemical research of original ore and concentrates of Hydrometallurgical Works 3

Information about authors

V. D. Tsoi¹, Head of Geological Exploration Procedure Department, Professor, Doctor of Geologo-Mineralogical Sciences

S. E. Bulin¹, CAT I Geologist

R. I. Usmanov², Head of Innovation Center Group, r.usmanov@ngmk.uz

A. B. Khvan², Leading Engineer of Geological Department

¹ Institute of Mineral Resources, Tashkent, Uzbekistan

² Navoi Mining and Metallurgical Combinat, Navoi, Uzbekistan

Abstract

This article describes the apparatus analysis procedure and results on material constitution of mineral products obtained at Hydrometallurgical Works 3 of the Navoi Mining and Metallurgical Combinat, Republic of Uzbekistan. As against the earlier research carried out at the Works, the analysis was integrated and its scope embraced 12 kinds of mineral products: original ore from the Kokpatas and Daugyztau deposits; flotation concentrates, tailings, primary solid product and secondary oxidized product obtained with BIOX® plant, feed and rejects of KEMIX plant, thickened neutralization product, etc.

The apparatus investigation was carried out with the X-ray phase analysis and structure identification using diffractometer Empyrean (Panalytical), scanning electron microscope SEM EVO MA 10 (Carl Zeiss) and methods of mineralogy and petrography. The experiments were executed at the laboratories of the Center for Advanced Technologies, Uzbekistan. The research findings were compared with the microscopy data obtained using conventional technique.

Keywords: gold, rebellious ore, dressing, biooxidation, concentrate, cyanidation, sulfides, iron oxides, silica minerals, beneficiation loss.

References

1. Koneev R. I., Khalmatov R. A. Some aspects of the mineralogy, geochemistry, and ore genesis of gold deposits in Uzbekistan. *Rudy i metallurgy*. 2013. No. 2. pp. 31–38.
2. Vikentyev I. V. Invisible and microscopic gold in pyrite: Methods and new data for massive sulfide ores of the Urals. *Geology of Ore Deposits*. 2015. Vol. 57, No. 4. pp. 237–265.
3. Chanturia V. A. Innovation-based processes of integrated and high-level processing of natural and technogenic minerals. *Gornyi Zhurnal*. 2015. No. 7. pp. 29–37. DOI: 10.17580/gzh.2015.07.05
4. Bitimbaev M. Z., Oryngozhyn E. S., Dzhumabaev E. I. Laboratory research of determination of ore and rock composition for corrections of main parameters of intensive heap leaching technology. *Advances in Current Natural Sciences*. 2015. No. 10. pp. 79–85.
5. Zaytsev V. A., Zaytseva A. V. Expanding of analytical possibilities of X-ray fluorescent analysis of metallurgical products of precious metals. *Tsvetnye Metallurgy*. 2015. No. 6. pp. 85–90. DOI: 10.17580/tsm.2015.06.17
6. Ivanov V. V., Lukashova M. V., Bushkareva K. Yu., Zemskova L. A. Gold-carbon system investigation using scanning electron microscopy. *Tsvetnye Metallurgy*. 2016. No. 7. pp. 38–42. DOI: 10.17580/tsm.2016.07.04
7. Talovina I. V., Aleksandrova T. N., Popov O., Lieberwirth H. Comparative analysis of rocks structural-textural characteristics studies by computer X-ray microtomography and quantitative microstructural analysis methods. *Obogashchenie Rud*. 2017. No. 3. pp. 56–62. DOI: 10.17580/or.2017.03.09
8. Yin Jiangning, Xiao Keyan. Resources potential analysis and metallogenic prospect of Mn resources in China. *Geology in China*. 2014. Vol. 41, No. 5. pp. 1424–1437.
9. Adam M., Asamoah R. K., Ofori-Sarpong G., Amankwah R. K. Preg-robbing Characteristics of Gold Ores in Ghana. *3rd UMaT Biennial International Mining and Mineral Conference*. Tarwa, 2014. pp. 192–196.
10. Chen Qishen. Mining Development cycle theory and development trends in Chinese mining. *Resources Science*. 2015. Vol. 37, No. 5. pp. 891–899.
11. Mineral commodity summaries 2015. Washington : U. S. Geological Survey, 2015. 199 p.
12. Farley J., Costanza R., Flomenhoft G., Kirk D. The Vermont common assets trust: an institution for sustainable, just and efficient resource allocation. *Ecological Economics*. 2015. Vol. 109. pp. 71–79.
13. Shemyakin V. S., Skopova L. V., Kuzmin V. G., Sokolov I. V. X-ray radiometric processing technology for quartz raw material. *Eurasian Mining*. 2016. No. 2. pp. 20–22. DOI: 10.17580/em.2016.02.05
14. Zhao L.-C., Wang J.-G., Li X., Zhang S., Zhang Z.-F. et al. Application of Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry/Mass Spectrometry to Phase Analysis of Gold Ores. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*. 2018. Vol. 46, Iss. 2. pp. 1801–1809.

