

УДК 553.411:549.324.31

**ПИРИТЫ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАПАДНОЕ
(БОДАЙБИНСКИЙ РАЙОН)****Пшеничкин А.Я., Гаврилов Р.Ю., Понамаренко М.А.***ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск,
e-mail: paya@tpu.ru*

Проведено изучение кристалломорфологии, термо-эдс и элементов-примесей пиритов из рудной зоны месторождения Западное. Установлено, что кристаллы пирита имеют только кубический габитус и характеризуются дырочным типом проводимости. Нередко на кристаллах встречается слабо развитая грань {210}. Химический состав кристаллов отличается от их стехиометрической формулы. Рентгеноспектральным анализом в пиритах обнаружены постоянно присутствующие элементы-примеси: Co, Ni, Cu, Zn, As, Pb. В результате проведенного исследования установлено, что месторождение имеет верхнерудный уровень эрозийного среза и перспективно на глубину.

Ключевые слова: пирит, кристалломорфология, термо-эдс, элементы-примеси, золотое оруденение**PYRITES OF GOLD DEPOSIT WEST (BODAYBO REGION)****Pshenichkin A.Y., Gavrilo R.Y., Ponamarenko M.A.***Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: paya@tpu.ru*

The study of crystal morphology, thermal-EMF and impurity elements pyrites from ore zone of the West deposit has been carried out. It was established that crystals of pyrites have only cubic habitus and are characterized by p-type of conductivity. Often poorly developed brink has been found on crystals. Chemical composition of the crystals differs from their stoichiometric formula. Constantly present impurity elements: Co, Ni, Cu, Zn, As, Pb have been found in pyrites by means of using of X-ray analysis. The study has revealed that the deposit has the upper level ore zone erosion and has the ability to detect ore mineralization at depth.

Keywords: pyrite, crystal morphology, thermos-EMF, impurity elements, gold mineralization

Комплекс методов поисков и прогнозирования рудных объектов включает как массово применяемые, так и редко используемые. Одним из таких методов является топоминералогический анализ, изучающий закономерности формирования и распределения минералов в различных геологических системах [3, 5, 10]. Наиболее часто встречаемым минералам на золоторудных объектах и, как следствие, одним из самых изученных, является пирит. Информация о кристалломорфологии, термо-эдс, содержания элементов-примесей пиритов, позволяет получать дополнительную информацию об изучаемых объектах, что, в свою очередь, способствует более успешному прогнозированию оруденения на потенциально рудоносных площадях.

Работа посвящена изучению кристалломорфологии, термо-эдс и элементов-примесей пиритов из рудной зоны месторождения Западное с целью определения уровня эрозийного среза оруденения.

Геологическое строение месторождения

Строение и вещественный состав Сухоложского рудного поля подробно освещены во многих публикациях [4, 9]. Ниже приведена краткая характеристика его западной части (рис. 1).

Месторождение Западное расположено в пределах Бодайбинского синклинория,

Кропоткинского рудного узла. Оно является составной частью Сухоложского рудного поля, располагаясь в его западной части. Месторождение изучено поверхностными горными выработками и скважинами колонкового бурения.

Главной структурой, контролирующей размещение оруденения, является Сухоложская антиклиналь. Она представляет собой линейную, сильно сжатую асимметричную складку, вытянутую в субширотном направлении и запрокинутую на юг. Северное и южное крылья антиклинали падают под углами 15...20° и 30...45° соответственно.

Рудные тела месторождения залегают в отложениях верхней подсвиты хомолхинской свиты и нижней подсвиты имняхской свиты, сложенных песчаниками, алевролитами и филлитами различной зернистости. Породы свит подверглись региональному метаморфизму хлорит-серицитово-кварцевой фации зеленосланцевой фации.

Проявление гидротермально-метасоматических процессов выражено в образовании карбонатной, сульфидной и кварцево-жильной минерализации. Оруденение приурочено к зонам разрывно-складчатых дислокаций, заполненных прожилково-вкрапленной кварцево-сульфидной и кварцево-жильной минерализацией.

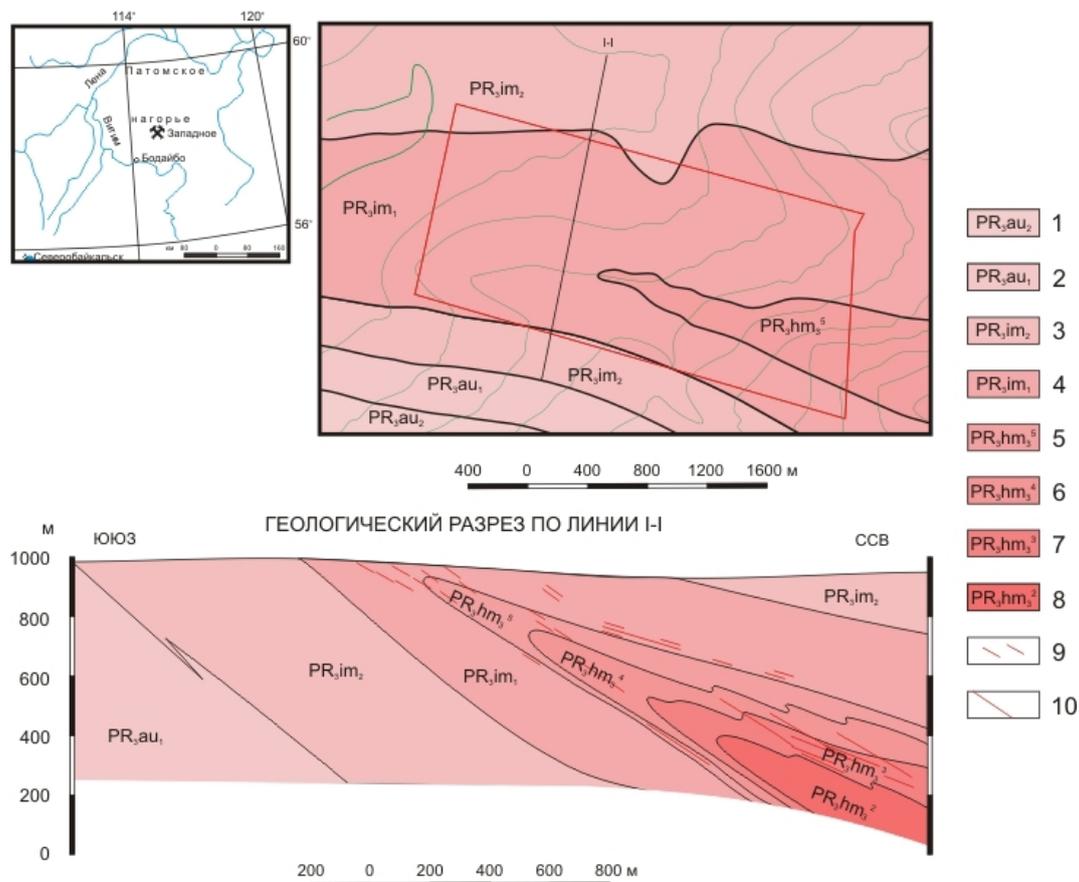


Рис. 1. Схема геологического строения месторождения Западное по [1] с дополнениями: Аунакитская свита (1–2): 1 – средняя подсвита, прослои кварцитовидных песчаников; 2 – нижняя подсвита, переслаивание сланцев углеродистых, песчаников кварцевых, известковистых и известняков; имняхская свита (3–4): 3 – верхняя подсвита, известняки белые, кремовые с зеленоватым оттенком, слои сланцев известковистых; 4 – нижняя подсвита, ритмичное переслаивание сланцев, песчаников известковистых, слои известняков; хомолхинская свита (5–8): 5 – пятый горизонт, сланцы филлитовидные, углеродистые прослои алевролитов и песчаников кварцево-сланцевых; 6 – четвертый горизонт, алевролиты кварцево-сланцевых; 7 – третий горизонт, ритмичное переслаивание сланцев углеродистых, алевролитов и песчаников кварцево-сланцевых; 8 – второй горизонт, сланцы высокоуглеродистые; 9 – рудовмещающие мелкие разрывные нарушения; 10 – контур лицензионной площади

Материалы и методы исследования

Изучались кристаллы пирита размером 0,5...2,5 см, отобранные из минерализованных зон поверхностных горных выработок и керна скважин. Для изучения термо-эдс кристаллы пирита дробились до фракции 0,5...1,0 мм и по ним проводилось измерение эдс минерала.

Для изучения химического состава пиритов и определения их элементов-примесей из трех кристаллов были изготовлены полированные шлифы. Анализируемая поверхность кристаллов была представлена их плоскостью симметрии. Образцы полировались пастами на основе карбида кремния, после чего тщательно протирались спиртом. По всей площади каждого кристалла производились измерения содержания химических элементов в точках, распределенных по равномерной сетке, состоящей из 225 точек (15 × 15) для первого кристалла, (образец

3-1), и из 49 точек (7 × 7) для второго и третьего кристаллов соответственно.

Проведенные ранее исследования пиритов золоторудных месторождений различного генезиса показали [3, 7, 8], что кристалломорфология пирита изменяется закономерно в разрезе рудных тел и месторождений. Так пириты из верхних частей рудных тел и месторождений имеют преимущественно кубический габитус кристаллов, где грань {210} в комбинациях кристаллов или отсутствует, или она слабо и неравномерно развита. В средних частях рудных тел и особенно в «рудных столбах», где содержание золота максимальное, грань {210} в комбинациях кристаллов становится габитусной и здесь преобладают пириты пентагондодекаэдрического габитуса.

Определение термо-эдс пиритов проводилось на установке, смонтированной на бинокулярном микроскопе МБС-10 в лаборатории геологии золота Томского политехнического университета, специ-

ально приспособленной для измерения термо-эдс мелких фракций минералов-полупроводников, размером 0,2...1,0 мм. Применялись латунные электроды. Холодный электрод – в виде массивной латунной пластины размером 20×10×0,5 см (для быстрого охлаждения), горячий электрод игловидной формы. Электроды соединены с измерительным цифровым миллиамперметром М-800 F, автоматически показывающим электронный (–n) или дырочный (+p) тип проводимости минерала.

Измерение проводилось при постоянной разности температур между холодным и горячим электродами в 150 °С. Калибровка электрода – установление разности температур между холодным и горячим электродами и типа проводимости – проводилась с помощью эталонного образца – галенита, который имеет только электронный тип проводимости. Через каждые 10...15 замеров проводились контрольные замеры эталонного галенита. Время одного замера термо-эдс минерала 15...20 сек. В каждой пробе производилось 38...50 замеров зерен или кристалликов минерала.

Пирит относится к минералам с примесным типом проводимости, а стехиометрически чистый пирит обладает только дырочным типом проводимости. Одно-двух валентные элементы (Ag, Sb, Hg, Pb, Zn, Cu), изоморфно входящие в структуру минерала, уменьшают или увеличивают значение дырочной составляющей термо-эдс, а трёх-четырёх валентные элементы (Ni, Co, As, Ti, W), изоморфно замещающие железо или серу, изменяют дырочную проводимость пирита на электронную. Кроме того, нами установлено [3, 6–8], что на величину и знак термо-эдс пирита влияют и другие факторы: разность температур между холодным и горячим электродами (с увеличением разности температур между электродами увеличивается как дырочная, так и электронная проводимость), естественное и искусственное облучение минерала, кристаллографическое направление кристалла, в котором производится измерение, температура и глубина формирования месторождения и, соответственно, изоморфная ёмкость кристаллической решетки пирита.

Проведенные нами исследования термо-эдс пиритов из руд и околорудных метасоматитов золоторудных месторождений разного генезиса [3, 6–8] показали, что термо-эдс минерала является чувствительным типоморфным признаком и закономерно меняется в пространстве и во времени от пиритов с электронной проводимостью из ранних высокотемпературных минеральных ассоциаций и прикорневых частей рудных тел к пиритам со смещенным типом проводимости из среднетемпературных минеральных ассоциаций и средних частей рудных тел, к пиритам с дырочным типом проводимости из заключительных этапов формирования месторождения и верхних частей рудных тел. По термо-эдс пиритов можно судить об условиях формирования месторождений, уровне эрозионного среза рудных тел и, следовательно, их перспективности на глубину и фланги [3].

Рентгеноспектральный анализ выполнялся на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном микроскопе (ЭДРФ, модель HORIBA XGT-7200). Данный прибор позволяет выполнять количественный химический анализ широкого спектра элементов от Na ($Z=11$) до U ($Z=92$). Площадь волновода (сканирующего луча) составляла 10 мкм. Измерения выполнялись при мощности излучения 50 кВ, силе электрического тока 1 мА; время замера каждой точки составляло 50 с.

Результаты исследования и их обсуждение

Пириты из рудных зон Западного месторождения встречаются в виде кубов {100} или кубов со слабообразованными гранями пентагондодекаэдра – {100}+{210} размером до 0,5...2,5 см. Кристаллы редко бывают хорошо образованы. Часто они имеют уплощённую форму или слабо псевдоромбоэдричны. Грани {100} покрыты сложным узором слойков роста паркетного типа. Грани {210} слабо развиты и также покрыты слойками роста. Слойки роста на гранях кристаллов очень тонкие и не имеют закономерных очертаний относительно ребер кристаллов. Грани кристаллов часто несут незакономерные отпечатки вмещающих пород (аргиллитов) и кварца. Внутреннее строение кристаллов не всегда плотное за счёт захвата вмещающих пород, излом слабо раковистый.

В связи с тем, что изученные кристаллы пирита из рудной зоны месторождения имеют только кубический габитус, что характерно для пиритов верхних частей рудных тел. Об этом же говорит и только дырочный тип проводимости пирита (табл.), который характерен также для пиритов верхних частей рудных тел [3, 6]. Проведенные нами исследования термо-эдс пиритов показали, что пириты месторождения имеют только дырочный тип проводимости с разбросом значений эдс от 27 до 83 мВ и близкими средними значениями в пределах 58,4...67,0 мВ, которые имеют равномерный характер распределения ($V=12,2...17,3\%$).

Поэтому, исходя из изучения кристалломорфологии и термо-эдс пирита можно сделать вывод, что уровень эрозионного среза золоторудного месторождения Западного небольшой (верхнерудный). Об этом свидетельствует наличие в центральной и восточной частях основных запасов золота Сухоложского рудного поля, локализованных в свитах, расположенных стратиграфически ниже по разрезу.

Химический состав изученных крупнокристаллических кристаллов пирита: S – 51,63%, Fe – 46,32%, несколько отличается от его формульных значений: S – 53,45%, Fe – 46,54%. Это, прежде всего, связано с наличием свободных катионных или анионных связей в пирите. В качестве элементов-примесей во всех кристаллах установлены: Co, Ni, Cu, Zn, As, Pb (рис. 2). Средние содержания элементов-примесей в образцах изменяются от долей процентов до 5 и более раз. Наибольшей вариацией характеризуются содержания Cu – от 0,04% до 0,21% и Pb – от 0,06% до 0,18%.

Термо-эдс пиритов месторождения Западное

№ пп	№ проб	Количество замеров	Термо-эдс, мВ			Стандартное отклонение (S)	Коэффициент вариации (V), %
			от	до	х _{ср.}		
1	3-4	47	33	80	59,6	9,7	16,3
2	3-5	38	40	78	66,9	8,7	12,2
3	3-6	42	27	83	67,0	12,5	18,7
4	3-7	50	35	77	58,4	11,2	17,3
5	3-8	39	31	75	62,5	10,1	15,3

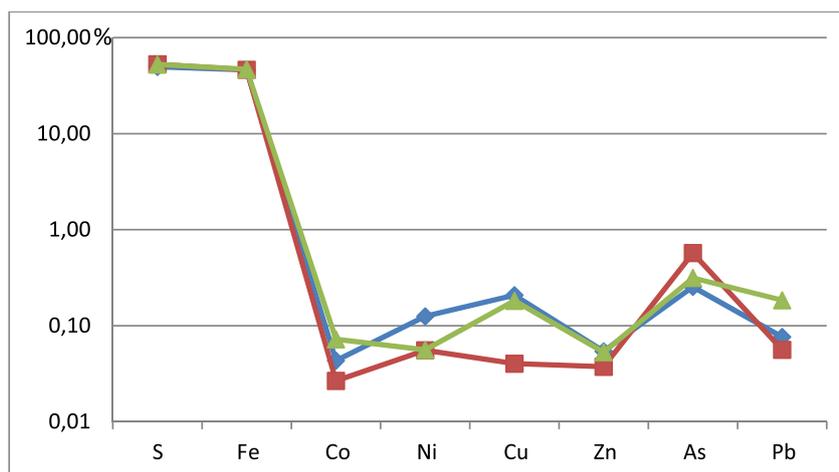


Рис. 2. Средние содержания химических элементов в 3 образцах пиритов по результатам рентгеноспектрального анализа

Перечень элементов-примесей, установленный в кристаллах пирита, совпадает с примесями, обнаруженными в золоте месторождения Сухой Лог [2]. Таким образом, наличие характерных элементов-примесей в пиритах, с большой долей вероятности свидетельствует об их формировании в процессе гидротермально-метасоматического рудообразования.

Выводы

Изученные кристаллы пирита имеют только кубический габитус со слабо развитой гранью {210}, что, по нашему мнению, свидетельствует о верхнерудном срезе золотого оруденения.

Пириты месторождения имеют только дырочный тип проводимости, что также свидетельствует об их локализации в верхних частях рудных тел.

Химический состав кристаллов пирита месторождения Западное отличается от их стехиометрической формулы, что свидетельствует о наличии в их составе элементов-примесей. Рентгеноспектральным анализом в пиритах обнаружены постоянно присутствующие элементы-примеси: Co, Ni, Cu, Zn, As, Pb. Это может свидетельствовать о синрудном образовании пиритов в процессе гидротермально-метасоматического рудообразования.

На основании проведенных исследований показано, что месторождение Западное имеет верхнерудный уровень эрозийного среза и перспективно на глущину.

Список литературы

1. Гаврилов Р.Ю. Геохимическая зональность рудовмещающего ореола мезотермального золоторудного месторождения Западное (Ленский рудный район) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2014. – № 1. – С. 59–67.
2. Гаврилов А.М., Кряжев С.Г. Минералого-геохимические особенности руд месторождения Сухой Лог // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 8. – С. 3-16.
3. Коробейников А.Ф., Нарсеев В.А., Пшеничкин А.Я. и др. Пириты золоторудных месторождений (свойства, зональность, практическое значение). – М.: ЦНИГРИ, 1993. – 213 с.
4. Лаверов Н.П., Прокофьев В.Ю., Дистлер В.В. и др. Новые данные об условиях рудоотложения и составе рудообразующих флюидов золото-платинового месторождения Сухой Лог. – Доклады РАН. – 2000. – Т. 371. – № 1. – С. 88-92.
5. Литовко Д.Н. Топоминералогия медно-молибденовой рудной формации Полярного Урала. – Л.: Наука, 1988. – 212 с.
6. Пшеничкин А.Я., Коробейников А.Ф. Особенности термо-эдс пиритов некоторых золоторудных месторождений // Вопросы геологии Сибири: Материалы Всероссийской конференции. – Томск: ТГУ, 1971. – С. 240-242
7. Пшеничкин А.Я., Коробейников А.Ф., Мацюшевский А.В. Особенности кристалломорфологии и термо-эдс пиритов золоторудных месторождений различных типов // Известия Томского политехнического института. – 1976. – Т. 260. – С. 39-48.
8. Пшеничкин А.Я. Кристалломорфология пирита и ее использование в практике поисково-разведочных работ на золото // Геология и геофизика. – 1989. – № 11 – С. 65-75.
9. Русинов В.Л., Русинова О.В., Кряжев С.Г. и др. Околорудный метасоматизм терригенных углеродистых пород в Ленском золоторудном районе // Геология рудных месторождений. – 2008. – Т. 50. – № 1. – С. 3-46.
10. Юшкин Н.П. Топоминералогия. – М.: Недра, 1982. – 288 с.