

УДК 553.411.071:550.4

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ РУДОВМЕЩАЮЩЕГО ОРЕОЛА МЕЗОТЕРМАЛЬНОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧЕРТОВО КОРЫТО (ПАТОМСКОЕ НАГОРЬЕ)

Р.Ю. Гаврилов, И.В. Кучеренко, В.Г. Мартыненко*, А.В. Верхозин*

Томский политехнический университет

E-mail: GavrilovRY@ignd.tpu.ru

*ООО «Ленская золоторудная компания», г. Бодайбо

E-mail: VerkhosinAV@polyusgold.com

Приведены результаты обработки геохимических данных по первичным ореолам рассеяния мезотермального золоторудного месторождения Чертово Корыто методами математической статистики. Основу исследования составили данные анализов проб керна вертикальных разведочных скважин. Построена обобщенная схема распределения статистических показателей по 6 разведочным профилям. В сравнении с полученными ранее результатами обсуждается объемная структурно-геохимическая модель месторождения.

Ключевые слова:

Месторождение Чертово Корыто, непараметрические методы математической статистики, объемная структурно-геохимическая модель.

Key words:

Chertovo Koryto deposit, non-parameter methods of mathematic statistics, volume structure-geochemic model

Постановка задачи

Одним из направлений исследований для прогнозирования рудных месторождений является изучение эндогенных ореолов рассеяния рудогенных элементов. Совершенствуются известные и предлагаются новые методики обработки геохимической информации для расшифровки аномальной структуры геохимического поля (АСГП) [1–4].

Основу прогнозирования оруденения, как известно, составляют прогнозно-поисковые модели месторождений, в разработке которых геохимические данные в сочетании с геологическими, структурными, геофизическими имеют первостепенное значение. Создание моделей-эталонов дает возможность выполнения сравнительного анализа с ними площадей и объектов, перспективы которых на промышленное оруденение требуется оценивать.

Ранее геохимические исследования в месторождении Чертово Корыто выполнялись в двух направлениях – в плане реконструкции геологической истории металлов в рудовмещающей черносланцевой толще [5] и в плане выявления объемной структуры геохимического ореола, пространственно-временных и причинно-следственных соотношений с ним рудных тел [6].

Было показано, что комплексный рудовмещающий золото-серебро-мышьяковый геохимический ореол месторождения представляет собой плоскую объемную фигуру, ориентированную вдоль рудоконтролирующего и раствороподводящего разлома, полого погружающуюся в западном направлении, сложенную метасоматически измененными осадочными породами углеродистой и метасоматитами тыловых зон метасоматического ореола и вмещающую в области наиболее высоких концентраций металлов рудную залежь.

При изучении АСГП для условий приповерхностной части месторождения с использованием

методов непараметрической статистики рассчитаны комплексные геохимические показатели и индикаторы [7]. Установлено, что основной вклад в создание АСГП месторождения вносят высококонтрастные ореолы рудогенных элементов: золота, серебра, мышьяка и свинца. Комплексные показатели и индикаторы в разной степени отражают АСГП месторождения. Одни совпадают с выходом рудного тела на дневную поверхность, другие – с его границей, третьи – отражают геохимическую зональность месторождения.

Представляет интерес выявление АСГП в объеме месторождения Чертово Корыто с тем, чтобы сопоставить результаты с полученными ранее на других золотоносных площадях и объектах [8]. Это призвано способствовать разработке геохимических прогнозно-поисковых критериев оруденения.

Картирование АСГП в пространстве осуществлялось с применением двух принципиальных подходов: первый основан на выделении ассоциаций химических элементов и анализе их распределения в пространстве, второй – на выделении областей пространства по тождественности геохимических характеристик.

Методика исследования

На месторождении Чертово Корыто проведено разведочное бурение вертикальными колонковыми скважинами по сети 50×50 м и подсчитаны запасы категорий C₁+C₂. В основу работы положены результаты опробования керна скважин: секционного керна – для определения содержания золота и секционного сколкового – для определения содержания элементов-спутников золотого оруденения и характера их поведения в пределах рудной зоны. Длина керна проб составляла в среднем 1 м, секции сколкового опробования при вари-

циях длины от 1 до 9 м в среднем 3 м. Пространство месторождения в аксонометрической проекции охарактеризовано по 6 разведочным буровым профилям.

Пробы на золото анализировались пробирным методом в лабораториях дочерних предприятий Ленской золоторудной компании: ООО «Тонода» и ОАО «Первенец», чувствительность метода составляла 0,1 г/т. Содержание золота определялось также атомно-абсорбционным методом, и им же проводился контроль результатов, полученных пробирным анализом, чувствительность метода составляла 0,01 г/т. Содержание 28 элементов, сопутствующих оруденению, анализировалось эмиссионным спектральным приближенно количественным анализом в лаборатории Бодайбинской геологоразведочной экспедиции. Наибольший интерес представляют результаты определения Ag, As, Pb, Co, Cu, Ni, Zn. Другие элементы либо не определены вовсе, либо их содержания не выходят за пределы фоновых значений.

Для расчета статистических показателей по элементам-спутникам золотого оруденения были использованы анализы более 4000 секционных сколовых проб. Расчет фоновых содержаний элементов проводился по стандартной методике с использованием результатов анализов 170 проб, отобранных из керна двух скважин, расположенных на периферии месторождения.

При составлении объемной структурно-геохимической модели использовались статистические расчеты ранговой корреляции, энергии рудообразования, дисперсии и вариации геохимического спектра, выполнялся кластерный и факторный анализы.

Различия методик опробования на золото, с одной стороны, и его элементы-спутники, с другой, не позволили оценить их взаимосвязи методами математической статистики. Сопоставление распределения содержания золота и статистических показателей распределения элементов-спутников проводилось по поперечным разведочным разрезам, изображенным в виде блок-диаграмм.

Краткий очерк геологического строения месторождения

Геологическая позиция и строение месторождения описаны ранее [5, 9].

Месторождение располагается на севере Иркутской области в северной части Патомского нагорья. Оно является типичным представителем мезотермального золотого оруденения в черных сланцах. Рудная залежь локализована в синклинальной брахискладке, образованной толщей раннепротерозойских углеродистых пород михайловской свиты. Углы падения пород варьируют от субгоризонтальных до пологих (10...20°) с изменением направления падения от южного на северном фланге до северо-северо-западного на южном. Складка осложнена флексурами более высоких порядков. Толща сложена метаморфизованными

до эпидот-амфиболитовой фации аркозовыми разнотермными, мелкозернистыми песчаниками, алевролитами, аргиллитами. Все породы обогащены углеродом от долей до 2 об. %. Пачка терригенно-осадочных пород подверглась метасоматическим изменениям пропилит-березитового профиля с образованием многочисленных золото-сульфидно-карбонат-кварцевых жил и прожилков.

Рудная залежь контролируется глубинным разломом север-северо-западного простирания, падающим в запад-юго-западном направлении под углом около 60°. Она образована в висячем боку разлома, оконтурена по бортовому содержанию 0,5 г/т (рис. 1), полого (до 20°) погружается в западном направлении при протяженности 1,8 км и ширине до 500 м. Ее мощность достигает 140 м. Содержание золота в рудном теле колеблется от сотых долей до сотен г/т. Проба золота варьирует в пределах от 744 до 971 ‰ [6]. В зависимости от принятого варианта кондиций размеры рудной залежи и количество запасов существенно изменяются. В центральной части наблюдается максимальная мощность рудного тела с наиболее богатыми рудными интервалами. По периферии залежь представлена отдельными маломощными выклинивающимися рудными линзами с более низкими содержаниями металла. Сравнение детально изученных литологических разрезов по 4 разведочным профилям (буровые линии (БЛ) 7, 8а, 19, 30) с данными о распределении золота не выявило литологического контроля оруденения.

Аномальная структура геохимического поля

Распределение рудогенных элементов в объеме месторождения не согласуется с нормальным и логнормальным законами.

Среди элементов спутников золотого оруденения наиболее контрастные аномалии в крупномасштабном метасоматическом ореоле создают As, Ag и Pb. Высококонтрастные ореолы As, на несколько порядков превышающие фоновые значения, в центральной части рудной зоны пространственно совпадают с контурами рудной залежи. В южной части ореол As простирается согласно рудной зоне, несколько выходя за ее пределы. И лишь на северном фланге (БЛ 7) ореол элемента слабо коррелирует с рудными телами, проявляя при этом тесную взаимосвязь с высококонтрастными ореолами золота. Аномальные концентрации Ag частично совпадают с высококонтрастными ореолами золота. В целом контрастные ореолы Ag, порой превышающие фоновые значения в сотни раз, хорошо коррелируют с рудными интервалами. Ореол Pb ведет себя в объеме рудной залежи неоднозначно, находясь как в контурах рудного тела, так и на его периферии. Его максимальные содержания достигают значений более чем в 300 раз превышающие фоновые.

В результате изучения взаимосвязи между рудогенными элементами методом *ранговой корреляции* установлено, что все элементы имеют друг с другом

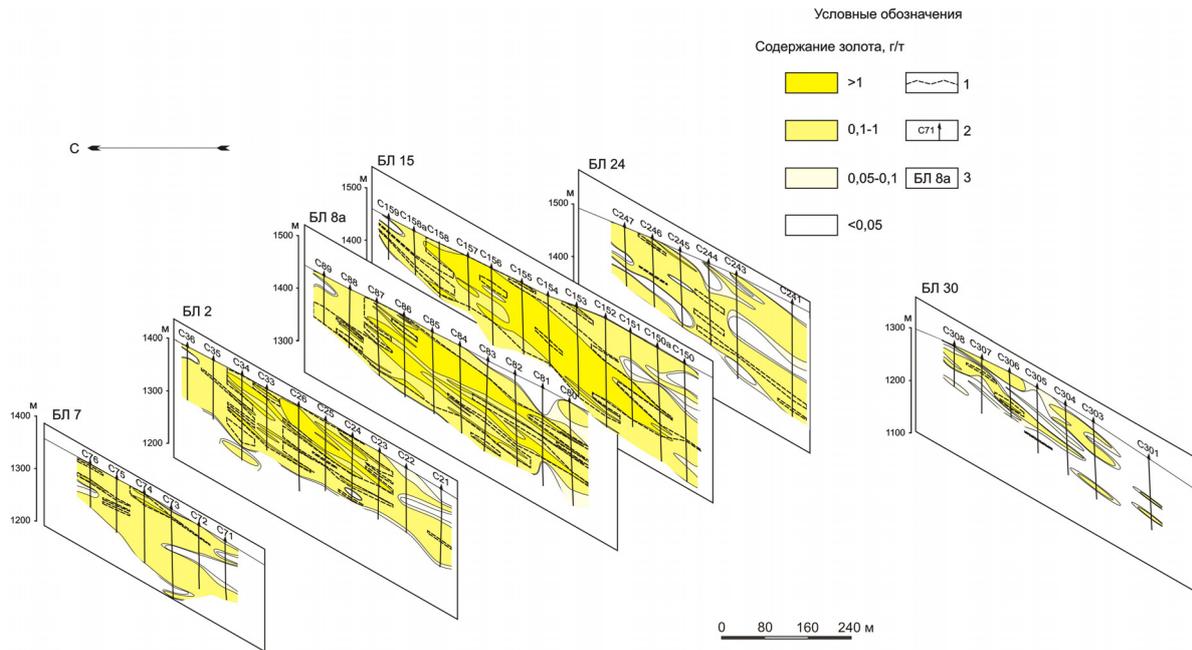


Рис. 1. Блок-диаграмма распределения золота в рудовещающем метасоматическом ореоле месторождения [6]: 1) контуры рудных тел; 2) разведочные скважины и их номера; 3) буровые линии и их номера

значимую положительную связь. Наибольшими значениями взаимосвязи отличаются Ni с Co, Pb, Cu, Zn и триада элементов Pb-Cu-Zn. Образующие в пределах месторождения контрастные аномалии Ag и As обладают несколько пониженным значением корреляционной связи (0,21). Таким образом, методом ранговой корреляции элементы не разделяются на отдельные группы, что, прежде всего, связано с низким порогом значимости взаимосвязей при большом количестве обрабатываемых проб.

Рассчитаны показатели, характеризующие интенсивность процессов гидротермально-метасоматического рудообразования: *энергия рудообразования* [10] и *дисперсия и вариация геохимического спектра* [11].

Расчет энергии рудообразования осуществляется путем суммирования произведений коэффициентов концентрации каждого элемента на их логарифмическое значение. Ее фоновые значения варьируют в пределах от -1 до 2 ед. и в объеме рудной залежи фиксируются крайне редко. Величина показателя достигает 10^4 ед. и более. В целом значения энергии рудообразования напрямую зависят от содержания доминирующего элемента – As.

Метод, обеспечивающий оценку степени дифференциации вещества по геохимическому спектру единичной пробы, был предложен И.И. Выбровым и С.Г. Быстровым [11]. В основе расчета показателей дисперсии и вариации геохимического спектра (ДГС и ВГС соответственно) лежат стандартные формулы дисперсии и вариации нормированных содержаний химических элементов. В окружающем крупнообъемный метасоматический ореол пространстве фоновые значения ДГС не превышают величин 0, n ед. В пределах рудной

зоны значения показателя существенно возрастают, достигая максимума в отдельных пробах 10^5 ед. и более. Основной вклад в аномальные значения ДГС вносит As, что и обусловило взаимосвязь в распределении их ореолов.

Фоновые значения ВГС на периферии крупнообъемного метасоматического ореола не превышают 40 %. В пределах рудного тела значения показателя варьируют от n до 250 %. Несмотря на то, что вариация является производной функцией от дисперсии, оба показателя несут различную генетическую информацию [8]. Аномальные значения ВГС не всегда совпадают с аномалиями ДГС. Этот факт подтверждается и на примере месторождения Чертов Корыто. Высококонтрастные ореолы показателя маркируют границу минерализованной зоны, что, очевидно, обусловлено резкой разницей в концентрации элементов в пределах рудного тела и его обрамления. В целом можно констатировать, что минерализованная зона месторождения характеризуется крайне неравномерным распределением содержания рудогенных элементов, с ВГС > 140 %.

Исключение из расчета показателей энергии рудообразования ДГС и ВГС приводит как к уменьшению значений показателей на несколько порядков, так и к резкому сокращению объема, занимаемого высококонтрастными их ореолами в пределах месторождения.

Таким образом, показатели интенсивности процессов рудообразования выделяют объем метасоматического ореола, в котором располагается минерализованная зона. Однако они не позволяют без дополнительных операций (разбивки химических элементов на ассоциации по определенному принципу) расшифровать АСГП месторождения.

Кластер-анализом в объеме минерализованной зоны выделено 5 классов проб. В первом и четвертом кластерах не установлено рудогенных элементов, вносящих в них существенный вклад. Во втором кластере обособились Cu, Zn, Ag, Pb, характеризующие галенит-халькопирит-сфалеритовую ассоциацию. Третий кластер проб отличается существенным вкладом в него Co и Ni, которые связаны со становлением пирит-пирротиновой ассоциации. В последнем пятом кластере доминирующую роль занимает As, активно участвующий в арсенопирит-пирит-пирротиновой ассоциации. Выявленные ассоциации химических элементов согласуются со стадийностью минералообразования, установленной в ходе проведения структурно-петролого-геохимических исследований на месторождении Чертово Корыто [5]. Несмотря на выявленные ассоциации, ограниченное количество химических элементов, участвующих в расчете, внесло свои коррективы в распределение кластеров в объеме месторождения. Четкой картины зонального строения геохимических ореолов не получено.

Для уточнения ассоциаций химических элементов с целью расшифровки АСГП также был проведен *факторный анализ*. Вкладом в общую дисперсию в размере 64 % отмечены первые три фактора. Основной вклад в *первый фактор*, с долей общей дисперсии 30 %, вносят Pb, Zn, Ag. Наибольшими нагрузками на *второй фактор*, с вкладом в общую дисперсию 20 %, характеризуются Co, Cu, Ni. В *третьем факторе* обособился один элемент – As. Все это может свидетельствовать о привносе этих элементов гидротермальными растворами и осаждении их в виде собственных минералов и элементов-примесей. Выявленные ассоциации химических элементов также вписываются в схему стадийности минералообразования [5]. Таким образом, разделение совокупности рудогенных элемен-

тов на три геохимические ассоциации указывает на различные условия и время образования рудной минерализации в пространстве крупнообъемного метасоматического ореола.

На основе обработки геохимических данных методами математической статистики составлена объемная структурно-геохимическая модель мезотермального золоторудного месторождения в черных сланцах (рис. 2).

Контрастный ореол Co и Ni совпадает в плоскости разреза с рудной залежью, частично с Ag-Pb-Zn-Cu ассоциацией, занимая и более периферийное положение в минерализованной зоне. Оба металла выделены из ранних гидротермальных растворов, отложивших пирит-пирротиновую минерализацию. Во второй группе обособился только один элемент – As, фиксация которого в арсенопирите происходила в составе более поздней арсенопирит-пирит-пирротиновой ассоциации. При наибольшем пространственном совмещении высококонтрастного ореола As и минерализованной зоны в целом наблюдается некоторая разобщенность в распределении его ореолов и ореолов золота. Контрастный ореол наиболее поздней Ag-Pb-Zn-Cu ассоциации также совпадает с рудной залежью, расположен в том числе и по ее периферии, но занимает более внутреннюю зону относительно ранней Co-Ni геохимической ассоциации.

По данным [5], отложение основной массы металла связано со становлением галенит-халькопирит-сфалеритовой минерализации. Золоторудная минерализация располагается в центральной части крупнообъемного метасоматического ореола, коррелируя с объемом, занимаемым контрастными Co-Ni и Ag-Pb-Zn-Cu геохимическими ассоциациями и высококонтрастным ореолом As ассоциации. В то же время контрастные ореолы Co-Ni и Ag-Pb-Zn-Cu геохимических ассоциаций контролируют периферию рудного тела.

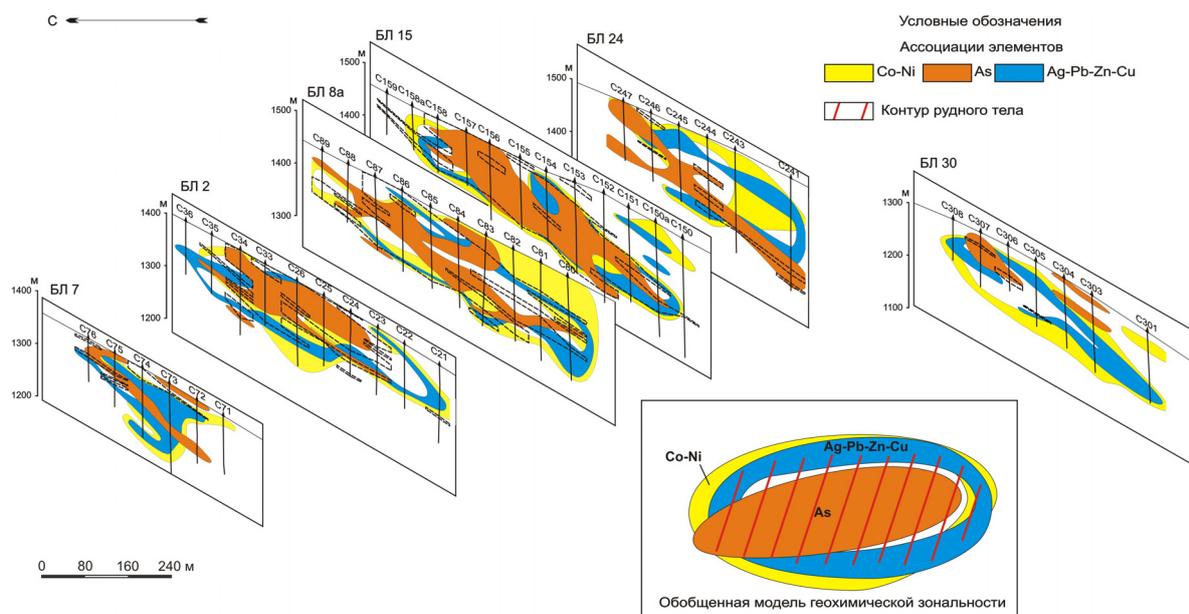


Рис. 2. Объемная структурно-геохимическая модель золоторудного месторождения Чертово Корыто

Результаты распределения ассоциаций рудогенных элементов показали, что они характеризуются концентрически зональным распределением в объеме минерализованной зоны, что выражено в распределении высококонтрастных ореолов одних элементов в центральной зоне рудообразования (As), а других – Ag-Pb-Zn-Cu, Co-Ni – по ее периферии. Установленную геохимическую зональность, возможно, с более широким спектром элементов рудных ассоциаций целесообразно использовать как при проведении площадных литогеохимических работ на перспективных площадях, так и при интерпретации информации, полученной по единичным горным выработкам и скважинам.

Обсуждение результатов и выводы

Полученные результаты дополняют представления о структуре аномального геохимического поля месторождения.

Статистические параметры распределения металлов, рассчитанные по данным опробования поверхностных горных выработок [7], с одной стороны, и разведочных скважин, с другой, отличаются.

Наиболее контрастно различия выражены в распределении As. Его площадной ореол [6], в отличие от объемного, существенно выходит за пределы контуров промышленного оруденения. Это можно объяснить разложением арсенопирита, который окисляется с образованием гидроокислов мышьяка и железа, накапливающихся в приповерхностной части месторождения. С другой стороны, процессы отложения ранних золотосодержащих мышьяковистых и поздних более высококонцентрированных золотоносных растворов разобщены во времени при вероятном изменении путей миграции поздних растворов сравнительно с ранними.

Различия в содержаниях химических элементов на дневной поверхности и в объеме минерализованной зоны, обусловленные, вероятно, влиянием процессов окисления, предопределили состав выделенных на основе кластерного и факторного анализов геохимических ассоциаций. В первом случае ассоциации представлены Ag-As-Pb, Cu-Zn, Co-Ni [7], во втором – Co-Ni, As, Ag-Pb-Zn-Cu. Эндогенные геохимические ассоциации, выявленные в объеме рудной залежи, согласуются со стадийностью гидротермального минералообразования [5]. Так, по результатам минералого-геохимических исследований основная масса золота, как и в других мезотермальных золоторудных месторождениях, отложена в заключительную полисульфидную стадию рудообразования, в нашем случае в составе галенит-халькопирит-сфалеритового минерального комплекса – Ag-Pb-Zn-Cu геохимической ассоциации.

Установленное концентрически зональное строение аномального геохимического поля слабо

выражено в приповерхностной части месторождения в сравнении с его объемом. Контрастные геохимические ореолы ассоциаций рудогенных элементов оконтуривают центральную часть (As) и периферию (Co-Ni, Ag-Pb-Zn-Cu) минерализованной зоны. Однако контрастные аномалии Co-Ni ассоциации приурочены к периферии промышленного оруденения и в первом, и во втором случае.

Участие фемофильных элементов в формировании зональности геохимических полей золоторудных месторождений также отмечено в работах [2, 12 и др.].

С учетом этого, корректное выделение геохимических ассоциаций на ранних стадиях геолого-разведочных работ может способствовать усилению эффективности оценки уровня эрозионного среза золотого оруденения.

Распределение показателей интенсивности процессов рудообразования, характеризующее приповерхностную область месторождения Чертово Корято [7], согласуется с распределением аналогичных показателей, рассчитанных по вторичным ореолам рассеяния в северной части Кузнецкого Алатау [8]. Ореолы, характеризующие распределение аномальных значений показателей интенсивности процесса рудообразования в объеме месторождения, лишь частично пространственно совмещены с контурами промышленного оруденения и, как правило, существенно выходят за его пределы. Различие в распределении комплексных показателей во вторичных и первичных ореолах можно объяснить более дифференцированным распределением металлов в зоне окисления руд, что отражается на увеличении площадей с аномальными значениями этих показателей.

Таким образом, примененный комплекс методов обработки геохимической информации обеспечивает расшифровку АСГП. Наиболее существенные результаты геохимического моделирования золоторудного месторождения Чертово Корято получены с применением кластерного и факторного анализов.

Созданная объемная структурно-геохимическая модель месторождения согласуется с результатами, полученными по золоторудным месторождениям других регионов [4, 1, 3, 8 и др.] и может способствовать выявлению и локализации золоторудных объектов на перспективных поисковых площадях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки. ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы». Гос. контракт № П238 от 23.04.2010 г., АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2011 годы)». Регистрационный номер: 2.1.1/12705; Гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект 10-05-00115).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григоров С.А. и др. О структурах геохимических полей на месторождениях Северо-Востока СССР // Доклады АН СССР. – 1988. – Т. 300. – № 1. – С. 201–204.
2. Гаврилов Р.Ю., Поцелуев А.А. Методические аспекты оценки неоднородности геохимического спектра геологических образований // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 307. – № 5. – С. 40–46.
3. Григоров С.А. Основы структурной интерпретации геохимических полей рудных объектов для целей их локализации и оценки // Отечественная геология. – 2007. – № 4. – С. 45–52.
4. Ворошилов В.Г. Аномальные структуры геохимических полей гидротермальных месторождений золота: механизм формирования, методика геометризации, типовые модели, прогноз масштабов оруденения // Геология рудных месторождений. – 2009. – Т. 51. – С. 3–19.
5. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю., Мартыненко В.Г., Верхоzin А.В. Петролого-геохимические черты рудовмещающего метасоматического ореола золоторудного месторождения Чертово Корыто (Патомское нагорье) // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312. – № 1. – С. 11–20.
6. Гаврилов Р.Ю., Кучеренко И.В., Мартыненко В.Г., Верхоzin А.В. Объемная геолого-геохимическая модель мезотермального золоторудного месторождения Чертово Корыто (Патомское нагорье) // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315. – № 1. – С. 30–43.
7. Гаврилов Р.Ю., Кучеренко И.В., Мартыненко В.Г., Верхоzin А.В. Структура геохимического поля мезотермального золоторудного месторождения Чертово Корыто (Северное Забайкалье) // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 11. – С. 19–24.
8. Гаврилов Р.Ю. Неоднородность геохимического спектра как прогнозно-поисковый критерий оруденения (на примере Центрально-Мартайгинской структурно-формационной подзоны): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 2006. – 22 с.
9. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю., Мартыненко В.Г., Верхоzin А.В. Структурно-динамическая модель золоторудных месторождений, образованных в несланцевом и черносланцевом субстрате. Ч. 2. Месторождение Чертово Корыто (Патомское нагорье) // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314. – № 1. – С. 23–38.
10. Сафронов Н.И., Мещеряков С.С., Иванов Н.П. Энергия рудообразования и поиски полезных ископаемых / под общ. ред. Н.И. Марочкина. – Л.: Недра, 1978. – 215 с.
11. Выборов С.Г., Быстров И.И. Опыт использования комплексного показателя нарушенности геохимического поля для прогнозирования оруденения // Известия вузов. Геология и разведка. – 1990. – № 4. – С. 102–110.
12. Чекваидзе В.Б., Милев С.А. Эндогенные ореолы сидерофильных элементов золоторудных месторождений // Руды и металлы. – 2009. – № 6. – С. 15–20.

Поступила 02.07.2011 г.

УДК 553.441:549.28(571.53)

ВЛИЯНИЕ МИКРОПРИМЕСЕЙ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ АРСЕНОПИРИТА И ПИРИТА ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧЕРТОВО КОРЫТО (ПАТОМСКОЕ НАГОРЬЕ)

Е.А. Вагина

Томский политехнический университет
E-mail: VEA1986@mail.ru

Изучена микротвердость пирита и арсенопирита нового месторождения черносланцевого типа Чертово Корыто (Патомское нагорье), а также состав микропримесей в них. Установлено, что пириту и арсенопириту различных генераций свойственны отличающиеся значения микротвердости, обусловленные присутствием изоморфных и механических примесей, а также условиями образования минералов. В частности в пирите установлено присутствие Co и Ni в виде изоморфных примесей, понижающих значение микротвердости. Предварительно установлено, что причиной изменения микротвердости арсенопирита оказалось повышенное содержание Au и напряженные тектонические условия образования. Показано, что изучение твердости позволяет разделить минералы на генерации, которые входят в минеральные комплексы стадий рудообразования.

Ключевые слова:

Месторождение Чертово Корыто, пирит, арсенопирит, микротвердость, микропримеси.

Key words:

Chertovo Koryto deposit, pyrite, arsenopyrite, microhardness, admixture.

Введение

Твердость минералов является одним из основных физических свойств. Многими авторами установлены зависимости значений микротвердости от условий формирования минералов. Например, в работах Н.Н. Мозговой для галенитов Тетюхинского месторождения была показана прямая зависимость твердости от содержания серебра [1]. М.С. Шнайдер и др. установили зависимость микротвердости пирита от интенсивности метамор-

физма [2]. В работе [3] доказано, что арсенопирит можно рассматривать в качестве чуткого минерального индикатора, позволяющего вести систематические исследования с целью выявления характера взаимосвязи его состава и физических свойств. Изучение твердости дает дополнительную генетическую информацию об объекте, что очень важно для интерпретации геологических данных.

В статье приведены результаты исследования микротвердости пирита и арсенопирита золото-