

УДК 553.435 (470.67)

## ПИРИТЫ МЕДНОКОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КИЗИЛ-ДЕРЕ (ГОРНЫЙ ДАГЕСТАН) КАК ПОИСКОВЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-ОСАДОЧНЫХ РУД

И. А. Богуш<sup>1,2</sup>, А. А. Бурцев<sup>2</sup>, В. И. Черкашин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии Дагестанского научного центра РАН

<sup>2</sup>Южно-Российский государственный технический университет

Статья посвящена исследованию генезиса пиритовых руд месторождения Кизил-Дере (Северный Кавказ, Горный Дагестан). Исследована твердость и другие характеристики пирита. Результаты исследования дают возможность определять генезис пирита в новых рудных объектах региона. Физические параметры пирита (микротвердость, электрическое сопротивление, термоэдс и др.) могут быть использованы при обнаружении новых колчеданных руд.

The work is devoted to the study of genesis of pyritic ores in the Kyzyl-Dere deposit (North Caucasia, Mountains of Daghestan). Hardness and other physical characteristics of the pyrite have been investigated. The obtained data provide possibility to define genesis of the pyrite in the new deposits of this region. Physical parameters of the pyrite (microhardness, electrical resistance, thermoelectrical characteristics, etc.) can help finding the new pyritic deposits.

Ключевые слова: месторождение; минералы; пирит; диагенез; рудогенез; онтогенез; типоморфизм.

Keywords: deposits; minerals; pyrite; diagenesis; ore genesis; ontogeny; typomorphism.

Теоретический прорыв и практические успехи в области рудной геологии, геологии месторождений полезных ископаемых во второй половине прошлого столетия были связаны со становлением теории гидротермально-осадочного рудогенеза. С гидротермально-осадочными процессами связаны такие крупные и широко известные рудные месторождения, как Гайское, Джусинское, Блявинское, Комсомольское, Сибайское, Левихинское Урупское, Октябрьское, Худесское, Кизил-Дере и др. Наиболее полное представление о процессах и механизмах рудообразования можно получить путем создания генетических моделей субмаринного гидротермально-осадочного рудообразования. Поскольку ископаемые рудные объекты претерпевают существенные эпигенетические метаморфические трансформации, то при исследовании таких месторождений полная картина формирования исследуемого рудного объекта может быть получена путем создания онтогенетической модели. Онтогенетическая модель дает представление не только о генетических позициях месторождения, но и об эпигенетических событиях, прослеживаемых вплоть до настоящего времени.

При относительной простоте минерального состава колчеданные руды имеют сложную историю формирования. Говоря о соотношении проявления процессов гидротермально-осадочного и гидротермально-метасоматического рудонакопления гидротермальными растворами, диагенетического и метаморфического преобразования руд, следует отметить, что в чистом виде гидротермально-осадочные колчеданные руды практически не сохраняются ни в одном из месторождений. Гидротермально-метасоматические руды представлены более широко.

Формирование колчеданных залежей может быть охарактеризовано как дискретный нестабильный во времени процесс, обусловленный пульсационным поступлением рудоносных растворов.

Обобщая материалы минералогического картирования 44 залежей колчеданных руд Кавказа и Южного Урала, теоретические разработки предшествующих исследователей, а также материалы исследования современных субмаринных гидротермальных руд, онтогенетическую схему гидротермально-осадочного рудогенеза можно представить следующим образом:

- 1) метасоматоз пород в головной части эндогенной флюидногидротермальной колонны, выходящей на дне бассейна;
- 2) седиментация сульфидных масс на дне бассейна и рассеивание по латерали от места выхода гидротермальных источников путем осаждения из взвесей (плюмы «черных курильщиков»);
- 3) кристаллизация из растворов в рудных холмах;
- 4) синдиагенетические преобразования и литификация осадочных сульфидных агрегатов;

- 5) аутометасоматические преобразования седиментационно-диагенетических и кристаллически-зернистых агрегатов под действием восходящих гидротерм;
- 6) аутометаморфизм руд в корневой зоне лежащего бока стратиформных рудных тел;
- 7) эрозия кровли рудной залежи, гравитационные перемещения рудных осадков, гальмиролиз, разрушение рудных построек и разнос по латерали рудного вещества в кластогенной, взвешенной и растворенной формах.

При формировании залежей все перечисленные события начинаются последовательно, причем последующие процессы не приостанавливают действия более ранних, поэтому основное время рудогенеза характеризуется одновременным проявлением всех событий с их частичным перекрытием и наложением.

Время завершения этих процессов различно и обусловлено особенностями вулканизма и седиментогенеза рудогенных структур. По мере развития залежи путем накопления седиментных рудных масс, все большая часть ее оказывается в активной сфере проявления эндогенной составляющей рудогенеза и соответственно трансформируется под влиянием новых физико-химических условий при более высоких температурах. Таким образом, гетерогенная и полигенная колчеданная залежь – это суммарный результат вышеуказанных процессов, протекающих одновременно в разных частях залежи и телескопически налагающихся друг на друга в определенной последовательности. Отсюда – значительная генетическая сложность и разнообразие колчеданного рудогенеза, объединяющего во времени и пространстве в единой залежи простые формы рудогенеза (осадочный, диагенетический и гидротермальный метасоматический, метаморфический) и создающего свой собственный тип – комбинированный, полигенный. В конце рудогенеза большая часть протоседиментационной залежи оказывается полностью или частично переработанной аутометасоматическими процессами. Такая синрудная переработка приводит к информационному шуму и известной конвергенции колчеданных руд уже в ходе рудогенеза.

Последующие трансформации руд – с полной или частичной структурно-текстурной и минералогической перестройкой, а зачастую и с изменением морфологии рудных тел – вызваны наложенным региональным и локальным метаморфизмом. Онтогенетический цикл гидротермально-осадочных залежей может завершаться частичной или полной дезинтеграцией. Полная и геологически мгновенная ликвидация рудной залежи может быть обусловлена антропогенными причинами (эксплуатация месторождения).

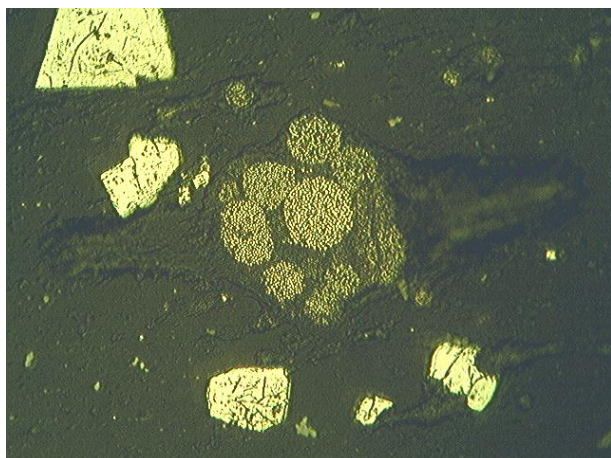
В природных условиях пирит имеет широкий генетический спектр и образуется в результате различных экзо- и эндогенных процессов в анаэробной обстановке. Среди сульфидов пирит обладает наиболее устойчивыми и показательными типоморфными и индикаторными свойствами, имеет емкую минералогическую память и значительно полнее и дольше других сульфидов сохраняет первоначальные типоморфные признаки при эпигенетических трансформациях.

Пирит – доминирующий минерал колчеданного оруденения, определивший название этого класса месторождений. В субмаринных колчеданных месторождениях гидротермально-осадочного происхождения сочетаются пириты различных морфо-генетических типов: осадочные, диагенетические, гидротермально-метасоматические (автобластические и метасоматические) и метаморфические [2, 6]. Выделенные типы пирита характеризуются типоморфными структурными, текстурными, анатомическими и физическими параметрическими показателями. Все эти генетические различия пирита одновременно встречаются только в гидротермально-осадочных залежах и месторождениях. Эта закономерность позволяет однозначно решать обратную задачу – определять и выделять гидротермально осадочные месторождения. Практика показала, что все промышленные типы колчеданных месторождений Кавказа относятся именно к этому генетическому типу.

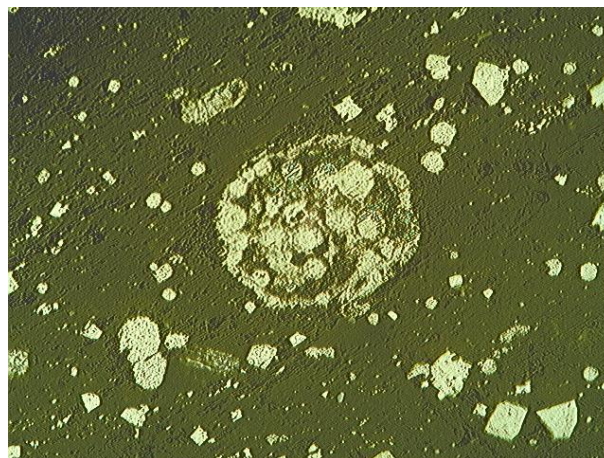
Как показали исследования И.Б. Полищука, О.А. Осетрова, М.М. Курбанова, В.Г. Рылова В.У. Мацапулина и других исследователей, руды медноколчеданного месторождения Кизил-Дере, наряду с господствующим пиритом, содержат халькопирит, пирротин и сфалерит. Адекватно отражая генетическую принадлежность руд разных участков залежей месторождения Кизил-Дере, в их составе присутствуют и соответствующие генетические типы пирита. В рудах месторождения Кизил-Дере выделены [5] все генетические типы пирита, специфичные для субмаринного гидротермально-осадочного рудогенеза.

Осадочные типы пирита являются продуктом хемогенного осаждения и «плюмажей» черных курильщиков. В осадочных рудах и вмещающих породах они фиксируются в виде тонких прослоев черных сажистых тонкодисперсных дисульфидов железа, часто именуемых как «гель-пирит», «мельниковит-пирит». Тонкодисперсный осадочный пирит в рудах месторождения Кизил-Дере весьма неустойчив и проявляется в виде тонких (0.1–0.2 мм) строго стратифицированных прослоев тонкокристаллического пирита во внутрирудных сланцах.

Широко развиты во внутрирудных сланцах и в самих рудах диагенетические формы пирита. Специфической формой диагенетического пирита является фрамбоидальный пирит (рис. 1), встречающийся как в современных осадках, так и в осадках глубокого докембрия пресноводных и морских бассейнов.

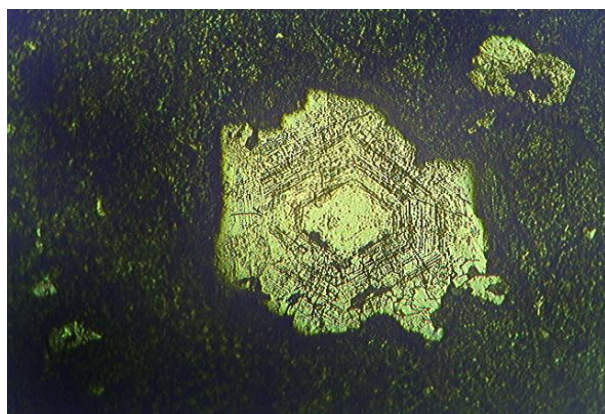


**Рис. 1.** Фрамбоидальный пирит (светлые сфероиды в центре снимка), светлые кристаллы – пирит. Темное – кварц, нерудные. Образец КД 278-525, ширина кадра 0.24 мм



**Рис. 2.** Органические остатки, замещенные пиритом. Внутри фоссилии наблюдается скопление фрамбоидального пирита. В кварцево-нерудном базисе (темное) видны сфероиды фрамбоидального пирита и кристаллы пирита (светлое). Образец КД 278-522, ширина кадра 0.48 мм

Наряду с колониями и отдельными фрамбоидами распространены фоссилии фрамбоидального пирита по обугленному органическому веществу. В отдельных случаях пиритные фоссилии развиты по микрофауне с признаками прижизненного захоронения в сульфидной массе. Типичными диагенетическими формами пирита являются микроконкреции, «колломорфные» и радиально-лучистые формы и фоссилии пирита по микрофауне. В сплошных колчеданных рудах все эти микроструктуры выявляются с помощью электролитического травления (рис. 2).



**Рис. 3.** Кристалл зонального автобластического пирита (светлое, в центре), темное – нерудный базис. Образец КД 625 296-297, ширина кадра 0.48 мм

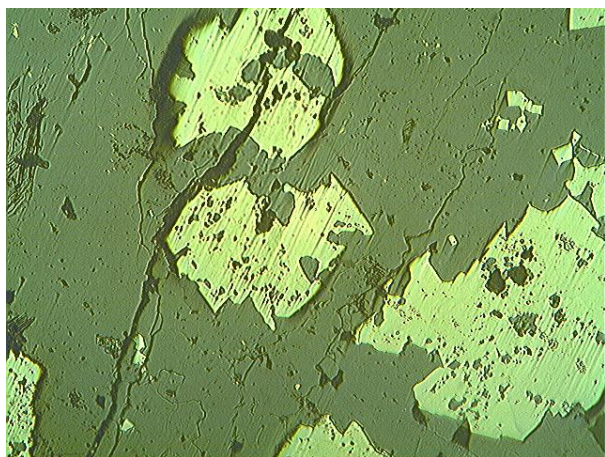
Гидротермально-метасоматический пирит представлен двумя формами: 1 – автобластический (продукт изохимического метасоматоза, синрудной переработки сплошных руд), 2 – метасоматический (продукт замещения вмещающих пород).

Кристаллически зрелый автобластический пирит развивается в сплошных колчеданных рудах в результате перекристаллизации тонкозернистых руд и роста более крупнозернистого пирита. Специфической особенностью этого пирита является тонкая зональность роста (рис. 3), выявляемая с помощью травления  $\text{HNO}_3 + \text{CaF}_2$ . Как показали наши исследования, количество зон роста прямо пропорционально размерам образовавшихся сульфидных масс [6, 7]. Автометасоматоз охватывает всю толщу ранее образованных руд и формирует зональность роста месторождений колчеданного класса.

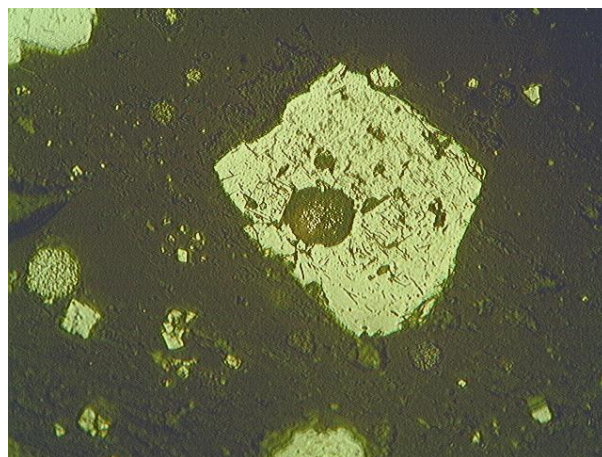
Гидротермально-метасоматический пирит образуется при замещении вмещающих пород и развит в корневой зоне месторождений в подрудных метасоматитах. Метасоматический пирит кристаллически зрелый как правило представлен метазернами и метакристаллами с реликтовыми включениями силикатных минералов замещаемых пород («дырчатая структура»). В виде микровключений в пирите чаще всего наблюдаются кварц, рутил, магнетит и включения вмещающих сланцев. Нередко метасоматический пирит захватывает зерна нерудных ми-

нералов (т.н. «дырчатая» структура» – рис. 4) или, что реже, – фрамбоиды диагенетического пирита (рис. 5). В гидротермально-метасоматическом пирите при травлении,  $\text{HNO}_3 + \text{CaF}_2$ , проявляются зональности роста 1-го и 2-го рода.

Метаморфический пирит не характерен для юрских колчеданных месторождений. В сланцевой полосе Дагестана главным фактором метаморфизма является динамический, связанный с расщеплением и складчатыми дислокациями терригенных комплексов. Метаморфические трансформации колчеданных руд месторождения Кизил-Дере выразились в образовании макро- и микроструктур и текстур и катаклаза, дробления и брекчирования сульфидных агрегатов и отдельных зерен. Зерна метаморфогенного пирита часто ангедральны.



**Рис. 4.** Метаморфический пирит «дырчатой» структуры (светлое), содержащий включения нерудных минералов. Пирит – светлое, темное – нерудные минералы. Образец КД 625 296-297, ширина кадра 0.48 мм



**Рис. 5.** Метакристалл пирита (светлое в центре снимка) захватил фрамбоид пирита. Темное – нерудные. Образец КД-278-522. Ширина кадра 0.48 мм

Для гидротермально-осадочных руд месторождения Кизил-Дере типоморфным индикаторным минералом является автобластический пирит с зональностью роста более 10–12 зон. Поисковым минералогическим критерием гидротермально-осадочного рудогенеза также является сочетание в одном образце (штупе) осадочно-диагенетического и автобластического пирита или наличие всех выше указанных морфогенетических типов пирита.

Генетическую принадлежность пирита, а следовательно и колчеданных руд, можно определить параметрически и с помощью типоморфных характеристик пирита. К числу последних относятся микротвердость, полупроводниковые свойства, термобарические показатели, количество зон роста, электропроводность, форма кристаллов и другие. Статистическая оценка параметрических показателей дает возможность однозначно определять генетическую принадлежность пирита (минералов и руд), устраняя почву для дискуссий относительно элементов их генезиса [2–4, 6].

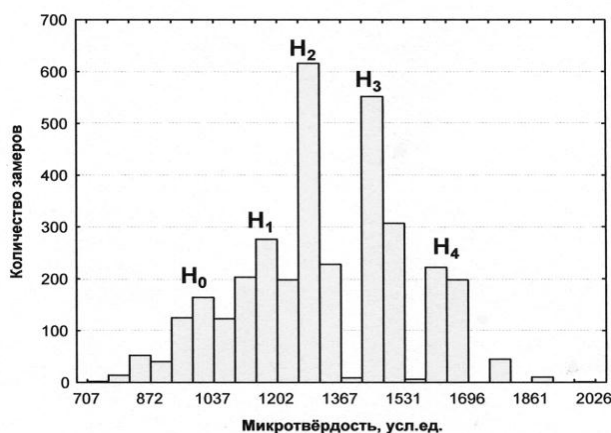
В таблице приведены некоторые типоморфные характеристики пирита, которые могут служить ориентиром для генетической типизации колчеданных руд.

Исследования типоморфных показателей пирита руд месторождения Кизил-Дере показали, что наиболее экономичным и эффективным показателем является микротвердость пирита. Она определялась по стандартной методике на приборе ПМТ-3 [8] в полированных аншлифах. Для полной информации о наборе генетических типов пирита в каждом образце производилось 52 единичных замера микротвердости. Типоморфные значения микротвердости приведены в таблице.

Для месторождения Кизил-Дере массовые замеры микротвердости проведены в 70 образцах руд из разных рудных тел Левобережной и Правобережной залежей. Эти замеры приведены на частотной гистограмме (рис. 5), по которой можно судить о количественном соотношении в рудах месторождения генетических типов пирита. Микротвердость пирита варьирует в широких пределах (от 707 до 2060 единиц), в этом диапазоне каждому генетическому типу пирита соответствует определенный интервал показателя (см. таблицу). На приведенной сводной гистограмме микротвердости пиритов Кизил-Дере (рис. 6) отчетливо выделяется несколько модальных пиков, что свидетельствует о неоднородности выборки и присутствии нескольких типов пирита.

**Типоморфные показатели пиритов медноколчеданных месторождений и околорудных пропилитов**

Типы руд и метасоматитов	Генетические типы пиритов	Индикаторные показатели пиритов				
		Морфология зерен и кристаллов	Анатомия, зональность	Микротвердость, (кгс/мм <sup>2</sup> )	Термоэдс ( $\alpha$ ) (мкВ/°С)	Элементы-примеси
Руды и метасоматиты медноколчеданных месторождений	Осадочно-диагенетические	Криптозернистый, фрамбоидальный, микроконкреций	Ангдральный, азональный	560–1100	от +120 до +460	Cu, Zn, Pb, Ba, Au, Ag, Ni, Co, Mn
	Автобластический	Бластокристаллы, полигенный {210}, {210}, {100}	Зональность 1-го рода, 15–600 зона роста	1010–1280	от –320 до +400 $\alpha_{cp} +95$	Cu, Zn, Pb, Se, Te, Co, Ni
	Метасоматический	Метакристаллы и метазерна {100}, {210}; {210}, {100}	Комбинированная 1-го и 2-го родов до 85 зон роста	1120–1470	от –350 до +180 $\alpha_{cp} + 80$	Cu, Zn, Pb, Co, Ni
	Метаморфогенный	Метакристаллы, метазерна {100}, {100}, {210}	Азональный, реликтовая 2-го рода	1274–1600	от –120 до –290	Cu, Zn, Pb, Co
Пропилиты колчеданного типа	Гидротермально-метасоматические	Метакристаллы, метазерна {100}, {210}, {111}	Второго рода	1120–1494	от –320 до +80 $\alpha_{cp} - 120$	Cu, Zn, Pb, As, Ba, Bi, Sb, Au, Ag, Co, Mo
	Метаморфизованные	Кубические идиобласты, ангдральный, оскольчатый {100}, {111}	Реликтовая 2-го рода, азональный	1360–1780	от –40 до –280	Cu, Zn, Pb, As



**Рис. 6.** Сводная гистограмма микротвердости (кгс/мм<sup>2</sup>) пиритов месторождения Кизил-Дере (3391 единичный замер). Обозначения генетических типов пирита: H<sub>0</sub> – осадочный; H<sub>1</sub> – диагенетический; H<sub>2</sub> – гидротермальный; H<sub>3</sub> – метасоматический; H<sub>4</sub> – регионального метаморфизма

Осадочные и осадочно-диагенетические пириты имеют минимальный показатель микротвердости (707–1064) с пиком 1020. Диагенетические пириты имеют интервал показателя 1064–1240 с четко выраженным модальным пиком 1175. Микротвердость метасоматических пиритов представлена интервалом микротвердости 1240–1475 с четкими пиками 1290 и 1434. Первый пик характеризует присутствие автобластического пирита, а второй относится к гидротермально-метасоматическому пириту. Относительно небольшое количество значений микротвердости метаморфического пирита (1475–1830) указывает на слабый региональный метаморфизм юрских пиритов Кизил-Дере. Поскольку типоморфные показатели микротвердости пиритов пропорционально отражают количество их типов в рудах, то используя данные сводной гистограммы, можно дать оценку процентного содержания генетических типов пирита в рудах месторождения.

Осадочно-диагенетические типы пирита находятся в минимальном количестве – 5.4%. Диагенетические пириты составляют 24.8% руд. Максимальные количества пирита в рудах представлены автобластическим – 27.1% и метасоматическим – 20.6% разностями. Метаморфизованные формы пирита составляют 20.6%.

Минералого-геохимические особенности минералов рудопроявлений Дагестана также успешно использованы при типизации рудопроявлений В.И. Черкашиным и В.У. Мацапулиным [9].

Таким образом, с помощью приемов и методов прикладной генетической минералогии можно производить поиски и оценку многочисленных (более 760) рудных сульфидных проявлений Дагестана с целью выявления аналогов месторождения Кизил-Дере – самого крупного месторождения Северного Кавказа.

---

ЛИТЕРАТУРА

1. *Богуш И.А.* Минералогическая информативность микротвердости пиритов колчеданной формации Северного Кавказа // Изв. Сев.-Кавк. науч. центра высш. школы. Естеств. науки. 1980. № 1. С. 68–72.
2. *Богуш И.А.* Микротвердость и морфогенетические различия дисульфидов железа медноколчеданных руд Северного Кавказа // Диагностика и диагностические свойства минералов. М.: Наука, 1981. С. 231–237.
3. *Богуш И.А.* Генетические типы и онтогенез дисульфидов железа колчеданной формации Северного Кавказа // Проблемы онтогении минералов / под ред. *Д.П. Григорьева*. Л.: Наука, 1985. С. 67–71.
4. *Богуш И.А.* Генетический анализ колчеданных месторождений Северного Кавказа – основа локального прогноза скрытого оруденения // Изв. Сев.Кавк. науч. центра высш. школы. Естеств. науки. 1990. № 1. С. 31–40.
5. *Богуш И.А., Курбанов М.М., Рылов В.Г., Труфанов В.Н.* Рудно-генетическая модель медноколчеданного месторождения Кизил-Дере // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 1999. № 4. С. 94–100.
6. *Богуш И.А., Бурцев А.А.* Онтогенетический атлас морфогенетических микроструктур колчеданных руд. Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2004. 200 с.
7. *Китаенко А.Э., Жабин А.Г., Богуш И.А.* Способ определения зональности колчеданных рудных тел. Пат. 2001419С1 РФ МКИ 5С01 УУ 9/00. Заявл. 16.08. 1991; Опубл. 15.10.1993. Бюл. № 37–38.
8. *Лебедева С.И.* Определение микротвердости минералов. М., 1963. 124 с.
9. *Черкашин В.И., Мацапулин В.У.* Минералого-геохимические особенности юрских рудных образований и металлогения Восточного Кавказа // Тр. Ин-та геологии ДНЦ РАН. Вып. 54. Махачкала, 2009. 276 с.

Поступила в редакцию 16.05.2012 г.  
Принята к печати 26.06.2012 г.