

УДК 553.4:550.4(470.6)
DOI: 10.23885/2500-0640-2018-14-1-89-96

ГЕОХИМИЯ КОБАЛЬТА ГИДРОТЕРМАЛЬНО-ОСАДОЧНЫХ РУД МЕДНО-КОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

© 2018 г. И.А. Богущ¹, А.А. Бурцев¹, С.Д. Шапошникова¹

Аннотация. Рассмотрены условия и формы локализации комплекса рудных элементов полигенных медно-колчеданных месторождений. В гидротермально-осадочном рудообразовании на разных участках рудной залежи проявляются следующие формы фиксации рудных элементов: рост минеральных форм на макро- и микроскопическом уровне; тонкодисперсные, субмикроскопические включения в базисном пирите; химические элементы, изоморфно замещающие железо и серу сульфидов (Co, Se, Te). Особое внимание уделено кобальту как специфичному компоненту гидротермально-осадочного рудогенеза, представляющему промышленный интерес. Статистически доказана локализация кобальта в проявлениях пирита гидротермальной формы гидротермально-осадочного рудогенеза. В продуктивных на кобальт гидротермально-осадочных колчеданных месторождениях кобальт присутствует во вмещающих базальтоидах и колчеданных рудах. Аномальные (промышленные) концентрации металла ассоциируют с основными породами (базальты). В колчеданных месторождениях кобальт концентрируется в серно-колчеданных рудах, продуктах гидротермальной составляющей гидротермально-осадочного рудогенеза. Кобальтовое оруденение развивается и возрастает в сторону лежачего бока, достигая максимума в корневой зоне рудного столба. Геохимически кобальт связан с железом рудных сульфидов и локализуется изоморфно, замещая железо в автобластическом зональном пирите. В кристаллически зрелом зональном пирите в качестве изоморфных примесей повсеместно с кобальтом присутствуют селен и теллур, геохимические аналоги серы.

Наличие и значительные запасы субпромышленных концентраций элементов медно-колчеданных руд позволяют рассматривать эти руды как комплексное полиметалльное сырье. Для рационального использования комплексных руд необходима разработка технологий селективного извлечения каждого из всех полезных компонентов.

Ключевые слова: Северный Кавказ, колчеданные месторождения, гидротермально-осадочные руды, геохимия, кобальт.

GEOCHEMISTRY OF COBALT FROM HYDROTHERMAL-SEDIMENTAL ORES OF COPPER-PYRITIC DEPOSITS OF THE NORTH CAUCASUS

I.A. Bogush¹, A.A. Burtsev¹, S.D. Shaposhnikova¹

Abstract. The authors considered the conditions and forms of localization of ore elements complex of polygenic copper-pyrite deposits. In hydrothermal-sedimentary ore formation, the following forms of fixation of ore elements appear in different sections of the ore deposit: growth of mineral forms at the macro and microscopic level; finely dispersed, submicroscopic inclusions in the base pyrite; chemical elements isomorphically replacing iron and sulfur sulfides (Co, Se, Te). Special attention was paid to cobalt as a specific component of hydrothermal-sedimentary ore genesis, which is of industrial interest. The authors have statistically proved the localization of cobalt in manifestations of the hydrothermal form (metasomatism) of pyrite ores of heterogeneous hydrothermal-sedimentary ore formation.

¹ Южно-Российский государственный политехнический университет им. М.И. Платова (Platov South-Russian State Polytechnic University, Novocherkassk, Russian Federation), Российская Федерация, 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, e-mail: i_bogush@mail.ru

In cobalt-rich hydrothermal-sedimentary deposits, cobalt is present in host basaltoids and pyrite ores. Abnormal (industrial) metal concentrations are associated with the main rocks (basalts). In pyrite deposits, cobalt is concentrated in sulfur-pyrite ores, products of the hydrothermal component of hydrothermal-sedimentary ore genesis. Cobalt mineralization develops and increases toward the recumbent side, reaching a maximum in the root zone of the ore column. Geochemically, cobalt is bound to the iron of ore sulphides and is localized isomorphically replacing iron in autoblastic zonal pyrite. In crystallographically mature zonal pyrite, selenium and tellurium are geochemical analogues of sulfur as isomorphic impurities everywhere with cobalt.

The presence and significant reserves of sub-industry concentrations of copper-pyrite ores elements makes it possible to treat these ores as complex polymetallic raw materials. For the rational use of complex ores, it is necessary to develop technologies for the selective extraction of each of all useful components.

Keywords: North Caucasus, pyritic deposits, hydrothermal-sedimentogene ores, geochemistry, cobalt.

ВВЕДЕНИЕ

Медно-колчеданные месторождения являются ведущим промышленным типом рудных месторождений Северного Кавказа. Промышленная ценность этих месторождений оценивается по содержанию меди, цинка, свинца, золота, кобальта. Из 11 колчеданных гидротермально-осадочных залежей Северного Кавказа при их медно-колчеданном профиле Худесское месторождение является крупным кобальтовым [1; 2]. В колчеданных сульфидных месторождениях кобальт представлен сопутствующим компонентом руд. В отдельных крупных колчеданных месторождениях Кавказа (Худесском и Кизил-Дере) запасы кобальта составляют десятки тысяч тонн. Несмотря на хорошую изученность колчеданных месторождений Северного Кавказа, теоретические аспекты кобальтоносности исследованы крайне недостаточно, а направления прогноза и поисков кобальта разработаны слабо. Нет обобщающих работ по примесным рудным элементам и элементам комплексных колчеданных руд гидротермально-осадочного рудообразования.

Целью данной работы показать геохимические особенности локализации кобальта в пиритах для поисков и прогноза аналогичных сульфидных руд.

ХАРАКТЕРИСТИКА КОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

Медно-колчеданные месторождения Северного Кавказа (Урупское, Худесское, Быковское, Бескесское, Власенчихинское, Первомайское, Скалистое) приурочены к 200-километровой полосе девонских вулканитов Передового хребта [2]. Продуктивные колчеданоносные базальтоидные девонские вулканиты представлены двумя свитами: 1) базальтовая натровая серия, гомодромно эволюционирующая

в ряду базальт – андезит – дацит – риолит (кизилкольская свита $D_{2,3ks}$); 2) базальт-риолитовая (даутская свита $D_{2,3d}$). Рудные залежи этих месторождений сложены стратиформными линзовидными и пластовыми телами сплошных руд, подстилаемых телами сульфидизированных околорудных метасоматитов [3; 4]. Среди колчеданных залежей гидротермально-осадочного генезиса Северного Кавказа при их медно-колчеданном профиле Урупское месторождение относится к золоторудным, а Худесское к кобальтовым [1; 4–6]. Сравнительный анализ вулканизма рудовмещающих пород, вещественного состава руд и морфологических особенностей залежей основных колчеданных месторождений Северного Кавказа позволяет отнести последние к уральскому типу с выделением двух подтипов – Худесского и Урупского [3; 7]. При общем генезисе оба типа различаются морфологией рудных тел, господством разных рудных фаций и геохимической специализацией. Кобальтовые месторождения кизилкольской свиты исключительно Худесского подтипа, для которого характерны линзовидные и линзовидно-пластовые формы стратиформных рудных тел при значительных мощностях линз (несколько десятков – сотня метров); соотношение мощностей к простиранию колеблется в пределах 1 : 10 – 1 : 25. Значительные размеры имеют конусовидные тела подрудных метасоматитов. Оси конусов метасоматитов субперпендикулярны стратиформным залежам и достигают размеров 150–180 м. Осадочные фации руд развиты незначительно в кровле и на флангах залежей. В разрезах рудных тел господствуют серно-колчеданные руды, со стороны лежащего бока составляющие до 80–95 % мощности рудных тел.

Отличия Урупского подтипа прежде всего проявляются в морфологии рудных тел. Урупский подтип представлен пластовыми, в редких случаях

пластово-линзовидными рудными телами, занимающими значительные площади по латерали, отношение мощности рудных тел к их простираению составляет от 1 : 100 до 1 : 250. Мощности самих рудных тел невелики (от 0,5 до 12 м). Основную роль играют медно-колчеданные осадочные руды, серно-колчеданные руды практически отсутствуют. Крайне незначительны мощности подрудных метасоматитов (1,5–20 м), верхняя часть которых содержит промышленное прожилково-вкрапленное оруднение. Поэтому медные руды содержат большое количество кварца (8–30 %).

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА

Худесское медно-колчеданное кобальтовое месторождение представлено двумя стратиформными залежами сплошных колчеданных руд (Главная и Промежуточная), подстилаемыми телами околорудных сульфидизированных метасоматитов. Главная рудная залежь содержит более 85 % рудных масс. По запасам меди Худесское месторождение уступает крупным кавказским месторождениям-«миллионникам» – Урупскому и Кизил-Дере, – но по кобальтоносности значительно их превосходит.

Кобальтовое Худесское месторождение выделяется среди прочих месторождений Кавказа наиболее крупными запасами колчеданных руд, максимальной мощностью (Главная залежь), господствующим развитием серно-колчеданных кобальтовых массивных руд. В составе рудовмещающей толщи кизилкольской свиты среди вулканитов господствующее положение (82–88 %) занимают шаровые лавы – базальты и андезиты-базальты. Главное рудное тело приурочено к контакту вулканитов с основанием базальтов и перекрытием андезитов-базальтами и базальтами [1; 8; 9].

В колчеданах продуктивной спилитово-кератофировой формации (D_{2-3}) кобальт присутствует постоянно ($3-4 \times 10^{-3}$ %) в концентрациях несколько выше кларковой ($1,8 \times 10^{-3}$ %). В рудных колчеданных месторождениях Северного Кавказа кобальт локализуется в максимальных количествах в сплошных серно-колчеданных, анхипиритных рудах. В медно-колчеданных и медно-цинковых рудах содержание кобальта незначительно, а в кобальт-пиритных рудах варьирует в широких пределах, от 0,003 до 0,2 % (табл. 1). В Худесском месторождении, самом крупном на Кавказе по массе колчеданных руд, среднее содержание кобальта 0,067 % [1].

В колчеданных месторождениях Северного Кавказа собственные минералы кобальта не обнаружены, кобальт находится в латентной форме в пирите. Исследования современных субмаринных колчеданных руд [10–12] показали присутствие кобальта в тысячных и сотых долях процента, при этом собственные минералы кобальта не наблюдались. Собственные минералы кобальта в гидротермально-осадочных рудах Кавказа встречаются исключительно редко (месторождение Кизил-Дере), несмотря на то, что колчеданные месторождения продуктивны на кобальт.

В составе рудных компонентов медно-колчеданных месторождений кобальт присутствует в качестве примесного элемента по сравнению с ведущими компонентами Fe, S, Cu, Zn, Au, Ag. Наряду с кобальтом в рудах отмечены также Pb, As, Se, Te, Cd, Ge, Ga, In (табл. 2), в настоящее время не представляющие промышленного интереса.

Высокая стоимость кобальта, низкие кондиционные требования и большие его запасы в колчеданных месторождениях позволяют выделять кобальт в качестве промышленного компонента колчеданов. В кобальтовых месторождениях Канады, Китая, Колумбии, США, Бразилии, Зимбабве

Таблица 1. Содержания полезных компонентов в рудах Худесского месторождения (результаты 1450 химических анализов керновых и бороздовых проб сплошных руд, анализы центральной химической лаборатория Северо-Кавказского геологического управления)

Table 1. The contents of useful components in the ore of the Khudes deposit (results of 1450 chemical analyses of core and furrow samples of solid ores, central chemical laboratory of the North Caucasian Geological Survey)

Сорта руд Grades of ores	Медь Copper %	Цинк Zinc %	Сера Sulfur %	Кобальт Cobalt %	Нерудные элементы Non-metallic elements %
Медистый колчедан / Copper pyridane	0,7–3,0	1,0–7,0	37–52	0,02	1–7 %
Серный колчедан / Sulfur pyrite	0,005–0,7	0,00–0,6	42–53,3	0,067	0,0–8 %

Таблица 2. Содержания полезных компонентов в рудах Промежуточной залежи Худесского месторождения, % (химические анализы бороздовых проб центральной химической лаборатории Северо-Кавказского геологического управления)
Table 2. The content of useful components in the ores of the Intermediate Deposit of the Khudes deposit, % (chemical analyses of the furrow samples of the Central Chemical Laboratory of the North Caucasian Geological Survey)

Элемент Element	Количество проб Number of samples	Среднее Average	Минимум Minimum	Максимум Maximum	Стандартное отклонение Standard deviation
Cu	199	2,54920	0,01000	176,0000	15,10173
Zn	196	0,66059	0,00000	6,2300	0,86848
S	199	48,55818	30,45000	51,3900	5,54920
Co	194	0,04278	0,00220	0,3300	0,03546
Se	164	0,01121	0,00100	0,0340	0,00729
Te	167	0,00633	0,00000	0,0350	0,00398
Cd	70	0,93111	0,00000	20,0020	4,07238
Au, г/т (g/t)	199	0,77012	0,00000	3,9000	0,66212
Ag, г/т (g/t)	192	5,69323	0,00000	43,1000	6,37213
Pb	97	0,03113	0,00000	0,2000	0,03452
In	163	0,00018	0,00000	0,0010	0,00026

промышленные концентрации кобальта (0,05 %) вполне сопоставимы с содержаниями металла в серно-колчеданных рудах Худесского месторождения. В России в известных медно-никелевых месторождениях Норильского рудного района содержания кобальта составляют 0,02–0,039 %, а в месторождениях Печенгской группы Кольского полуострова – 0,022–0,039% [1; 6].

ГЕОХИМИЯ КОБАЛЬТА В КОЛЧЕДАНЫХ РУДАХ

Главные и рассеянные рудные компоненты колчеданных месторождений неравномерно рас-

пределены в разрезах рудных тел, образуя универсальную генетическую и геохимическую зональность [4; 13; 14]. Для рудных элементов различаются следующие три формы локализации главных и рассеянных элементов:

1) собственные минеральные формы, фиксируемые микро- и макроскопически в колчеданных рудах и зернах пирита (халькопирит, сфалерит, галенит, блеклые руды и др.);

2) субмикроскопические включения минеральных форм элементов в главных минералах-носителях (Cu, Zn, Pb, Au, Ag, Sb, Bi). Эти элементы часто фиксируются методами электронной микроскопии внутри зерен и кристаллов автобластического зонального пирита. В кристаллах пирита колчеданных месторождений при электролитическом травлении проявляется зональность роста первого рода [4; 13], фиксируемая чередованием светлых протравленных зон пирита и черных протравленных зон (рис. 1). Наши наблюдения показали, что пирит светлых зон стерилен и не содержит примесных элементов. Черные протравленные зоны концентрируют все примесные элементы;

3) латентная концентрация элементов, изоморфно замещающих таковые в главных рудных минералах, в первую очередь в господствующем пирите. Латентные элементы выявляются в рудах только химическим путем.

Особое внимание привлекают пириты серно-колчеданных руд, в которых в заметных количествах содержатся кобальт, селен, теллур. Приоритетное положение в этих рудах занимает кобальт (от 0,005 до 0,4 %), который, не образуя собственных минералов, изоморфно замещает железо. Ион-

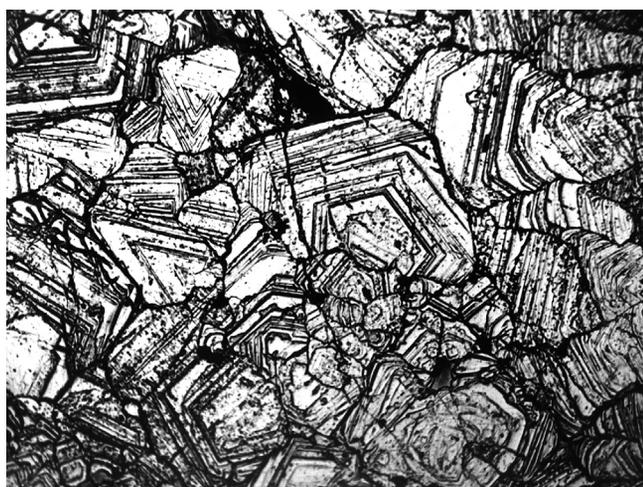


Рис. 1. Кристаллически зрелый пирит с зональностью роста 1-го рода, серно-колчеданные руды Худесского месторождения. Протравлено $\text{HNO}_3 + \text{CaF}_2$, ширина кадра 2,0 мм.

Fig. 1. Crystalline mature pyrite with growth zonality of the 1st kind, sulfuricollite-ore data of the Khudes deposit. Etched with $\text{HNO}_3 + \text{CaF}_2$, frame width 2.0 mm.

Таблица 3. Корреляционная матрица элементов руд Худесского месторождения**Table 3.** Correlation matrix of ore elements of the Khudes deposit

	Co	Se	Te	Au	Ag
Zn	-0,22	-0,27		0,45	0,39
Co		0,62		-0,45	-0,39
Se			0,36	-0,50	-0,40
Te				-0,24	-0,16
Au					0,67

ные радиусы кобальта и железа (0,078 и 0,08 нм) близки, что обуславливает их геохимические свойства. Сопровождающая руды геохимически единая триада S, Se, Te [15] предполагает замещение серы селеном и теллуром.

Статистический анализ главных рудных элементов Худесского месторождения позволил уточнить группировку и геохимические особенности этих рудных компонентов. Матрица корреляции (табл. 3) демонстрирует положительные и отрицательные связи некоторых элементов.

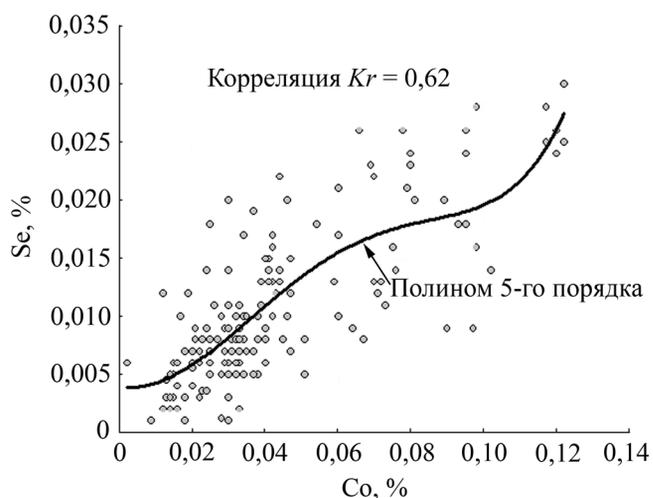
В первую очередь наиболее тесные связи прослеживаются между серой, селеном, теллуром и кобальтом, то есть элементами, изоморфно входящим в пирит. Эти элементы обогащают серно-колчеданные руды корневой зоны залежей. В антагонизме с кобальтом (отрицательные связи) находятся цинк, золото, серебро, то есть группа элементов медно-цинковых и медных руд кровли залежей. Элементы изоморфного замещения (Se, Te) также антагонистичны ведущим минералообразующим главным элементам (Cu, Zn, Au, Ag).

Кобальт относится к числу изоморфных латентных металлов, не имеющих в пределах Худесского месторождения собственных минералов, и определяется в рудах химическим анализом. Результаты более 2,5 тыс. массовых химических анализов бороздовых и керновых проб руд Худесского месторождения (анализы центральной химической лаборатории Северо-Кавказского геологического управления) позволяют определить его как крупный кобальтовый промышленный объект. Стабильно в качестве изоморфных элементов в рудном пирите проявляются теллур и селен. Аномально высокие содержания кобальта в пирите (от десятых долей до нескольких процентов) позволяют выделять пирит под собственным названием «кобальт-пирит». Выявлена прямая корреляция в пирите между кобальтом и селеном (рис. 2). Оба элемента имеют разные химические свойства и относятся к разным группам периодической системы Менделеева.

Единственная причина их тесной корреляции объясняется совместным изоморфным присутствием в пирите, при этом они замещают, с одной стороны, железо (Co, Ni), с другой – серу пирита (Se, Te) в колчеданных анхипиритных рудах. Дендрограмма, представленная на рисунке 3, иллюстрирует совместное присутствие в пирите разных по химическим свойствам элементов (Co, Se, Te).

КОБАЛЬТ В ГИДРОТЕРМАЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ КОЛЧЕДАННОГО ГЕТЕРОГЕННОГО РУДОГЕНЕЗА

Статистическая обработка массовых химических анализов руд Худесского месторождения в сочетании с моделью онтогенеза гидротермально-осадочных месторождений позволила прояснить геохимические закономерности поведения кобальта в колчеданном рудогенезе. В ископаемых колчеданных рудах и в современных субмаринных колчеданах кобальт не образует собственных минеральных форм, а присутствует в изоморфной примеси в сульфидах. Исследования кобальта в 10 парах пирит – халькопирит современных океанских колчеданов Восточно-Тихоокеанского поднятия показало примесное присутствие кобальта: в пирите среднее содержание 0,0286 % (разброс 0,008–0,045 %), в халькопирите – 0,0248 % (разброс 0,004–0,064 %) [11]. Специфической особенностью гидротермально-осадочного рудообразования является постоянное воздействие последующих рудных флюидов на ранее отложенные рудные массы. Раз-

**Рис. 2.** Поле корреляции между содержаниями кобальта и селена.**Fig. 2.** The correlation field between the contents of cobalt and selenium.

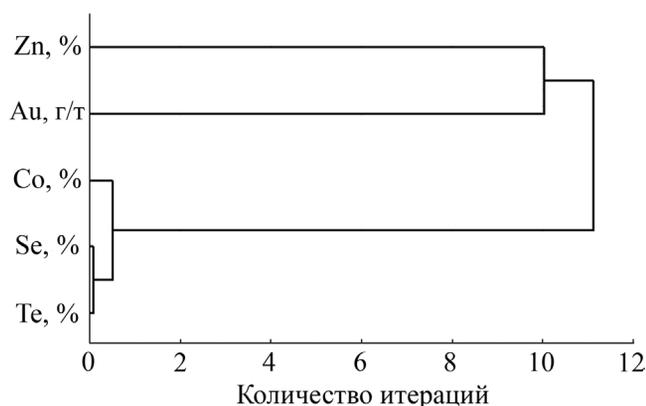


Рис. 3. Дендрограмма иерархического кластер-анализа содержаний для Zn, Au, Co, Se и Te в рудах Главной залежи Худеского месторождения.

Fig. 3. Dendrogram of the hierarchical cluster analysis of the contents for Zn, Au, Co, Se and Te in the ores of the Main Deposit of the Khudes deposit.

витие и рост по вертикали рудного столба постоянно протекает внутри рудного тела. Иных каналов движения рудных флюидов просто нет, поскольку рудное тело целиком расположено на рудообразующей структуре все время своего формирования. В гетерогенной гидротермально-осадочной залежи составляющие рудные процессы (осадочные и гидротермальные) неравномерно проявляются в пределах рудного столба, формируя генетическую, минеральную и геохимическую зональность месторождения [4; 13].

В голове рудного столба (кровля залежи) в донной обстановке происходит разгрузка гидротермального флюида и накопление осадочных колчеданных руд [10–12]. Здесь сбрасывается на геохимическом барьере весь рудный материал рудоносных флюидов. Остальная часть рудного столба (95–98 % по мощности), начиная от корневой зоны и до кровли, – это область трансформации руд высокотемпературным гидротермальным флюидом, дренирующим внутри рудного тела [4; 13]. В этой части столба происходит перекристаллизация осадочных сульфидов (автобластез). По мере приближения к корневой части рудного столба в рудах исчезают признаки осадочных процессов и в полной мере развиваются признаки гидротермальных процессов метасоматоза. В конечном итоге пульсационное действие рудного источника приводит к неоднократной полной перекристаллизации руд так, что большая часть первично осадочного рудного тела перекристаллизована и имеет все признаки метасоматических руд. При таком метасоматозе главные рудные элементы (Cu, Zn, Pb) неоднократно с

каждым импульсом переотлагаются и выносятся вверх по разрезу, ближе к геохимическому барьеру, в области более низких температур.

Осадочные руды сохраняются только в кровле и на флангах залежи в незначительных количествах, а 90–95 % залежи несут признаки гидротермального рудообразования. В большей части рудной колонки идет постоянный гидротермальный процесс переработки сульфидных масс рудогенными флюидами. Каждый рудный импульс эндогенного источника сопровождается отложением сульфидного (рудного) материала на ранее отложенных минералах. Для пирита этот импульс связан с бластезом, то есть с ростом зерен и кристаллов [4; 5; 16], с увеличением числа зон роста. Количество зон роста отражает количество рудных импульсов растущих залежей и достигает иногда 370–400. Такой механизм роста подтвержден статистически положительной корреляцией между мощностью рудных тел и числом зон роста пирита [13]. Естественно, что в кровле залежи фиксируется последний рудный импульс, в то время как в корневой зоне отмечается максимум зон роста и зафиксированы практически все импульсы. По мере приближения к лежащему боку от кровли залежи число зон роста пирита постепенно растет.

Минералогическое картирование более 40 колчеданных залежей Кавказа и Урала, проведенное авторами, показало локализацию серно-колчеданных руд со стороны лежащего бока рудных тел [1; 4]. Именно эти участки разрезов залежей геохимически трактуются как области аномального изоморфного замещения пирита кобальтом, селеном и теллуrom. Закономерно, что чем больше времени пирит контактирует с рудогенными флюидами, тем больше сера и железо пирита замещаются селеном, теллуrom, кобальтом. Именно такая обстановка создается в корневой зоне рудного столба.

В настоящей статье рассматриваются проблемы кобальтоносности колчеданных месторождений Северного Кавказа, однако проблемы кобальтоносности месторождений колчеданной формации и всего Кавказа гораздо шире. Группа С.Г. Пареды [17] доказала, что потенциально кобальтоносными являются ультрабазиты Передового хребта. Геохимические исследования Малкинского и Беденского серпентинитовых массивов выявили площадные аномалии благородных металлов, Ni, Cr и Co в ультрабазитах и филлитах. Заслуживают внимания аномальные содержания кобальта (до 0,05 %) в продуктах гипергенеза этих территорий [17]. При

этом подчеркивается, что главным коренным источником кобальта и благородных металлов являются магматические ультрабазитовые тела.

Аналогами кобальтового Худесского месторождения являются Ивановское колчеданное месторождение Южного Урала [18] и месторождение Дерни Китая [19], оба месторождения связаны с вулканогенными базальтами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В продуктивных гидротермально-осадочных колчеданных месторождениях кобальт присутствует во вмещающих базальтоидах и колчеданных рудах. Аномальные (промышленные) концентрации металла обнаруживаются в вулканитах кизилкольской свиты, где кобальт ассоциируется с основными породами (базальты).

В колчеданных месторождениях кобальт концентрируется в серно-колчеданных рудах, продуктах гидротермальной составляющей гидротермально-осадочного рудогенеза.

В рудно-фациальной и геохимической зональной рудной колонке гидротермально-осадочных колчеданных месторождений кобальтовое оруденение развивается и возрастает в сторону лежа-

чего бока, достигая максимума в корневой зоне рудного столба.

Геохимически кобальт связан с железом рудных сульфидов и локализуется, изоморфно замещая железо в автобластическом зональном пирите.

В кристаллически зрелом зональном пирите в качестве изоморфных примесей повсеместно с кобальтом присутствуют селен и теллур, геохимические аналоги серы.

В прикладном отношении в колчеданных месторождениях следует концентрировать внимание на кристаллически зрелых серно-колчеданных рудах лежащего бока залежей мелко-грубозернистой структуры массивной текстуры, до сих считающихся непромышленными. Рудно-фациальный анализ медно-колчеданных месторождений Северного Кавказа позволил выделить такие руды в Быковском и Бескесском месторождениях [7; 16], кобальтоносность которых еще не исследовалась.

Наличие и значительные запасы субпромышленных концентраций элементов медно-колчеданных руд позволяют рассматривать эти руды как комплексное полиметалльное сырье. Для рационального использования комплексных руд необходима разработка технологий селективного извлечения каждого из всех полезных компонентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богуш И.А., Рябов Г.В., Шапошникова С.Д. 2014. Кобальтоносность руд медноколчеданных месторождений Северного Кавказа. *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки.* 3: 91–93.
2. Смирнов В.И. 1973. *Колчеданные месторождения Большого Кавказа.* М., Недра: 140 с.
3. Рябов Г.В., Скрипченко Н.С. 1995. Морфо-генетические типы колчеданных месторождений Северного Кавказа. В кн.: *Проблемы геологии, оценки и прогноза полезных ископаемых Юга России: Тезисы докладов зональной научной конференции, 2–3 февраля 1995.* Новочеркасск, изд-во НГТУ: 58–59.
4. Бурцев А.А., Богуш И.А. 2012. *Онтогенетическая зональность месторождений колчеданного семейства.* Saarbrücken, Deutschland, LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co: 446 с.
5. Богуш И.А., Бурцев А.А. 2004. *Онтогенетический атлас морфогенетических микроструктур колчеданных руд.* Ростов н/Д, изд-во СКНЦ ВШ: 200 с.
6. Богуш И.А., Шапошникова С.Д. 2017. Кобальт гидротермально-осадочных руд колчеданных месторождений Северного Кавказа. *Геология и геофизика Юга России.* 2: 5–12.
7. Рябов Г.В., Богуш И.А. 2012. Типизация колчеданных месторождений Северного Кавказа. *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки.* 5: 88–91.
8. Скрипченко Н.С. 1972. *Гидротермально-осадочные сульфидные руды базальтоидных формаций.* М., Недра: 216 с.
9. Скрипченко Н.С., Тамбиев А.С. 2000. Вулканиты и рудоносность девонского базальтового пояса Северного Кавказа. В кн.: *Геология и минерально-сырьевая база Северного Кавказа. Материалы IX международной конференции.* Ессентуки: 613–628.
10. Лисицин А.П., Богданов А.П. 1990. *Гидротермальные образования рифтовых зон океана.* М.: Наука: 256 с.
11. Казанцев Р.А., Кругляков В.В., Авдонин В.В., Голева Р.В. 1993. Сульфидное оруденение рифтовой зоны Восточно-Тихоокеанского поднятия между 12°45' и 13°02'. *Геология и разведка.* 6: 92–102.
12. Лисицын А.П., Крук К.К., Богданов Ю.А., Зоненшайн Л.П., Муравьев К.Г., Гуфар Р.В., Гурвич Е.Г., Гордеев В.В., Иванов Г.В. 1992. Гидротермальное поле рифтовой зоны бассейна Манус. *Известия АН СССР. Серия геологическая.* 10: 14–55.
13. Богуш И.А. 1981. Тектурно-структурная зональность и онтогенез полигенных колчеданных залежей Северного Кавказа. *Геология рудных месторождений.* 23(5): 41–51.
14. *Медноколчеданные месторождения Урала: условия формирования.* 1992. Екатеринбург, УрО РАН: 307 с.
15. Перельман А.И. 1979. *Геохимия.* М., Высшая школа: 528 с.
16. Богуш И.А. 1979. Комбинированные руды колчеданных месторождений Северного Кавказа. *Геология рудных месторождений.* 6: 32–46.

17. Парада С.Г., Столяров В.В., Маркин М.Ю., Шишкалов И.Ю. 2014. Проявление потенциально платиноносных гипербазитов в геохимических аномалиях Ni, Cr и Co на примере восточной части Передового хребта (Кабардино-Балкарская Республика). *Геология и геофизика Юга России*. 2: 42–53.
18. Мелекестсева И.Ю. 2007. *Гетерогенные кобальт-медноколчеданные месторождения в ультрамафитах палеоостроводужных структур*. М., Наука: 245 с.
19. Wang H., Qin L., Tan H., Hou Z. 2000. The Derni Cu-Co massive sulfide deposit, Qinghai Province, China: Ultramafic volcanic-hosted submarine-exhalative mineralization. *Exploration and Mining Geology*. 9(3–4): 253–264. doi: 10.2113/0090253

REFERENCES

1. Bogush I.A., Ryabov G.V., Shaposhnikova S.D. 2014. [Ores copper pyritic deposits North Caucasus]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Tekhnicheskie nauki*. 3: 91–93. (In Russian).
2. Smirnov V.I. 1973. *Kolchedannyye mestorozhdeniya Bol'shogo Kavkaza*. [The pyritaceous deposits of the Greater Caucasus]. Moscow, Nedra: 140 p. (In Russian).
3. Ryabov G.V., Skripchenko N.S. 1995. [Morphological-genetic types of pyrite deposits in the North Caucasus]. In: *Problemy geologii, otsenki i prognoza poleznykh iskopaemykh Yuga Rossii: Tezisy dokladov zonal'noy nauchnoy konferentsii*. [Problems of geology, evaluation and forecasting of minerals in the South of Russia: Theses of the reports of the Zonal Scientific Conference (Novocherkassk, Russia, 2–3 February 1995)]. Novocherkassk, South-Russian State Polytechnic University: 58–59. (In Russian).
4. Burtsev A.A., Bogush I.A. 2012. *Ontogenicheskaya zonal'nost' mestorozhdeniy kolchedannogo semeystva*. [Ontogenetic zoning of deposits of the pyrite family]. Saarbrücken, Deutschland, LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co: 446 p. (In Russian).
5. Bogush I.A., Burtsev A.A. 2004. *Ontogenicheskii atlas morfogeneticheskikh mikrostruktur kolchedannykh rud*. [Ontogenetic atlas of morphogenetic microstructures of pyrite ores]. Rostov-on-Don, North-Caucasian Center of the Higher School Publ.: 200 p. (In Russian).
6. Bogush I.A., Shaposhnikova S.D. 2017. [Cobalt in submarine-exhalative ores of sulfide deposits from North Caucasus]. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii*. 2: 5–12. (In Russian).
7. Ryabov G.V., Bogush I.A. 2012. [Typification of copper pyritic deposits of the North Caucasus]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Tekhnicheskie nauki*. 5: 88–91. (In Russian).
8. Skripchenko N.S. 1972. *Gidrotermal'no-osadochnyye sul'fidnyye rudy bazal'toidnykh formatsiy*. [Hydrothermal-sedimentary sulphidic ores of basaltic formations]. Moscow, Nedra: 216 p. (In Russian).
9. Skripchenko N.S., Tambiyev A.S. 2000. [Volcanites and sulphidic ores of the Devonian basaltic belt of the North Caucasus]. In: *Geologiya i mineral'no-syr'evaya baza Severnogo Kavkaza. Materialy IX mezhdunarodnoy konferentsii*. [Geology and mineral resources of the North Caucasus. Materials of the IX International Conference (Yessentuki, Stavropol Region, Russia)]. Yessentuki: 613–628. (In Russian).
10. Lisitsin A.P., Bogdanov A.P. 1990. *Gidrotermal'nye obrazovaniya riftovykh zon okeana*. [Hydrothermal formations of rift zones of the ocean]. Moscow, Nauka: 256 p. (In Russian).
11. Kazantsev R.A., Kruglyakov V.V., Avdonin V.V., Goleva R.V. 1993. [Sulphide mineralization of the rift zone of the East Pacific uplift between 12°45' and 13°02']. *Geologiya i razvedka*. 6: 92–102. (In Russian).
12. Lisitsyn A.P., Kruk K.K., Bogdanov Yu.A., Zonenshayn L.P., Muraviev K.G., Toufar R.V., Gurchich E.G., Gordeev V.V., Ivanov G.V. 1992. [Hydrothermal field of the rift zone of the Manus basin]. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geologicheskaya*. 10: 14–55. (In Russian).
13. Bogush I.A. 1981. [Textural and structural zonality and ontogenesis of polygenic pyritic deposits of the Northern Caucasus]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*. 23(5): 41–51. (In Russian).
14. *Mednokolchedannyye mestorozhdeniya Urala: usloviya formirovaniya*. [The copper-pyrite deposits of the Urals: Formation conditions]. 1992. Yekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences: 307 p. (In Russian).
15. Perelman A.I. 1979. *Geokhimiya*. [Geochemistry]. Moscow, Vysshaya shkola: 528 p. (In Russian).
16. Bogush I.A. 1979. [The combined ores of pyritic deposits of the North Caucasus]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*. 6: 32–46. (In Russian).
17. Парада С.Г., Столяров В.В., Маркин М.Ю., Шишкалов И.Ю. 2014. [Manifestation of potentially platinum containing ultrabasicites in the geochemical anomalies of Ni, Cr, and Co based on the example of the eastern part of Front Range (Kabardino-Balkarskaya Republic)]. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii*. 2: 42–53. (In Russian).
18. Мелекестсева И.Ю. 2007. *Гетерогенные кобальт-медноколчеданные месторождения в ультрамафитах палеоостроводужных структур*. [Heterogeneous cobalt-copper-pyritic deposits in the ultramafites of the paleoisland-arch structures]. Moscow, Nauka: 245 p. (In Russian).
19. Wang H., Qin L., Tan H., Hou Z. 2000. The Derni Cu-Co massive sulfide deposit, Qinghai Province, China: Ultramafic volcanic-hosted submarine-exhalative mineralization. *Exploration and Mining Geology*. 9(3–4): 253–264. doi: 10.2113/0090253

Поступила 22.09.2017