

ISSN 2221-3198

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ

№ 2 / 2017



УДК 549.324.31:553.435 (470.6)

DOI: 10.23671/VNC.2017.2.9486

КОБАЛЬТ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-ОСАДОЧНЫХ РУД КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА.

© 2017 И. А. Богущ, д.г.-м.н., проф., С. Д. Шапошникова, аспирант

ФГБОУВО Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, Россия, 346428, Ростовской области, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, 96, e-mail: i_bogush@mail.ru

В вулканогенной спилитово-кератофировой формации девона Северного Кавказа рассмотрена кобальтоносность двух вулканогенных свит кизилкольской и даутской. Аномальное содержание кобальта сосредоточено в массивных колчеданных рудах кизилкольской базальтовой свиты (D_2 ks). Выделены поисковые критерии и типы кобальтоносных колчеданных руд. На примере кобальтового Худесского месторождения показано обогащение кобальтом пирита массивных серноколчеданных руд. Доказана локализация кобальта изоморфно входящего в полнокристаллический автобластический пирит. Определена перспективная кобальтоносность медноколчеданных гидротермально-осадочных месторождений Северного Кавказа.

Ключевые слова: Северный Кавказ, медноколчеданные месторождения, колчеданные руды, кобальт, пирит, изоморфные примеси.

Одним из главных рудных богатств Кавказа являются медноколчеданные залежи, к которым принадлежат такие крупные месторождения как Урупское, Худесское, Кизил-Дере. Эти месторождения служат источником меди, цинка, золота, платины, в настоящее время извлекаемых выборочно из комплексных колчеданных руд Урупским ГОКом. Медноколчеданные месторождения относятся к промышленному типу кобальтовых месторождений. В колчеданных сульфидных месторождениях кобальт представлен сопутствующим компонентом руд. Все промышленно ценные проявления медных колчеданов Кавказа являются производными гидротермально-осадочного рудогенеза. Колчеданное оруденение Кавказа относится к двум разновозрастным формационным типам [Рябов, Богущ, 2012; Скрипченко, Тамбиев, 2000]: 1) вулканогенные месторождения девонской базальтоидной формации металлогенической зоны Передового хребта; 2) колчеданы нижнеюрской осадочной черносланцевой формации Восточного Кавказа (месторождения Дагестана). Продуктивные колчеданоносные базальтоидные девонские (D_{1-2}) вулканы представлены двумя свитами: 1 – базальтовой натровой серией спилито-кератофировой формации, гомодромно эволюционирующей в ряду базальт-андезит-дацит-риолит (кизилкольская свита D_2 ks)», 2 – базальт-риолитового состава (даутская свита D_2 d). Эти свиты имеют определенные различия в петрологическом составе вмещающих вулкаников, характере вулканической деятельности и особенностях проявления рудогенных процессов. Различия в рудовмещающих комплексах проявляются в геологических особенностях генетически однотипных колчеданных месторождений, что соответственно влияет на параметрические показатели поисково-оценочных критериев колчеданных месторождений двух свит.

Колчеданные месторождения вулканогенного семейства

В продуктивных девонских вулканитах Северного Кавказа выявлены и разведаны следующие колчеданные объекты [Рябов, Богуш, 2012; Скрипченко, 1972]: 1) месторождения – Урупское, Худесское, Быковское, Власенчихинское, Бескесское, Даутское, Скалистое, Первомайское, Карабекское, Водораздельное; 2) крупные рудопрооявления и рудные зоны – Кыркольская, Горелая, Буруны, Нефтянка; 3) крупные зоны сульфидизированных метасоматитов (более 300). Все указанные месторождения и рудопрооявления являются продуктом субмаринного базальтоидного вулканизма, неразрывно по времени и генетически связаны с девонским вулканизмом Передового хребта Северного Кавказа. Типоморфными особенностями этих вулканогенных месторождений является стандартный набор генетических типов колчеданного оруденения, в разных сочетаниях слагающих рудные залежи. К числу этих генетических типов руд относятся следующие: 1) осадочные вулканогенные; 2) гидротермально-осадочные; 3) комбинированные (автометасоматические); 4) метасоматические.

Общими критериями колчеданных месторождений вулканогенной формации, производных гидротермально-осадочного рудогенеза, являются следующие: 1) стратифицированное положение рудных тел пластовой и линзовидной формы; 2) минеральный состав; 3) вертикальная зональность, с осадочными рудами кровли, комбинированными сплошными рудами основной части рудных тел и корневыми зонами прожилково-вкрапленных руд и пиритизированных метасоматитов в лежачем боку. В зависимости от состава и генетического типа вмещающих девонских вулканитов указанных свит в отдельных рудных залежах проявляются их групповые, индивидуальные различия в морфологии рудных тел и руд, фациальном, текстурно-структурном, минералогическом и геохимическом отношении. Выделяются два типа разрезов колчеданных залежей [Рябов, Богуш, 2012], различающихся сочетаниями фациальных разностей гидротермально-осадочных руд. Генетическая зональность колчеданных залежей кизилкольской свиты (Худесский тип) приведена на рисунке 1.

Худесское медно-кобальтовое месторождение

Для Худесского подтипа характерна линзовидная и линзовидно-пластовая форма стратиформных тел сплошных колчеданных руд, при значительных мощностях линз (первые десятки – сотня метров) соотношение мощностей к простиранию колеблется в пределах 1:10-1:75. В кровле и на флангах колчеданных линз залегают осадочные кремнисто-оксидно-сульфидные слоистые руды [Wang H. et al., 2000] и гематитизированные яшмоиды – продукты гальмиролиза сульфидных масс и седиментогенеза. На флангах линз сплошных руд часто встречаются рудные и яшмоидные гальки, которые указывают на синрудный размыв рудного тела. Фланговый тип руд также представлен тонкослоистыми рудами с типичной градационной (флишоидной) слоистостью кремнисто-сульфидного и кремнисто-сульфидно-гематитового состава [Богуш, 1981; Бурцев, Богуш, 2012; Large, 1977]. Результаты минералогического картирования и генетическая зональность Худесских залежей приведены на рисунке 1. Разрез Главной залежи Худесского месторождения (рис. 2) демонстрирует соотношение медноколчеданных и серноколчеданных руд. 95% рудной массы месторождения сосредоточены в Главной залежи, из которых только 10-11% представлены медноколчеданными рудами. Соотношение серного и медного колчедана показаны на рис. 2.

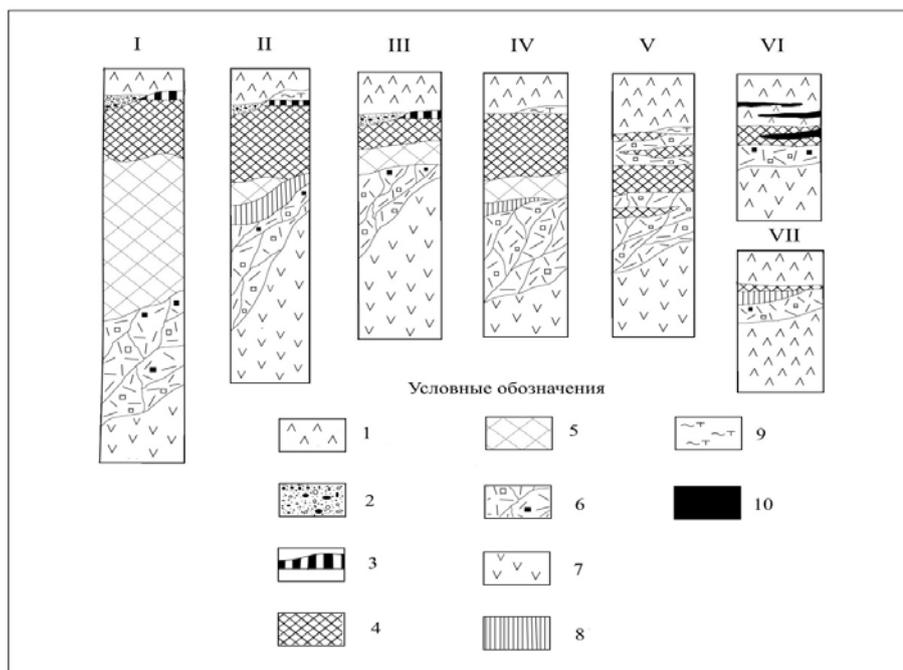


Рис. 1. Типы руд и рудогенетическая зональность колчеданных проявлений Худесского типа Северного Кавказа. Условные обозначения:

Рудные залежи: I – Главная Худесская, II – Промежуточная Худесская, III – Кизилкольская, IV – Быковская, V – Бескесская, VI – Буруны, VII – Пцыцарская.

Горные породы и руды: 1 – андезиты – андезито-базальты, 2 – рудокласты, 3 – сульфидно-оксидные руды, 4 – медноколчеданные сплошные руды, 5 – серный колчедан (массивные руды), 6 – пиритизированные метасоматиты, 7 – базальты, 8 – оруденелые метасоматиты, 9 – туфы и туффиты, 10 – магнетит-гематитовые руды.

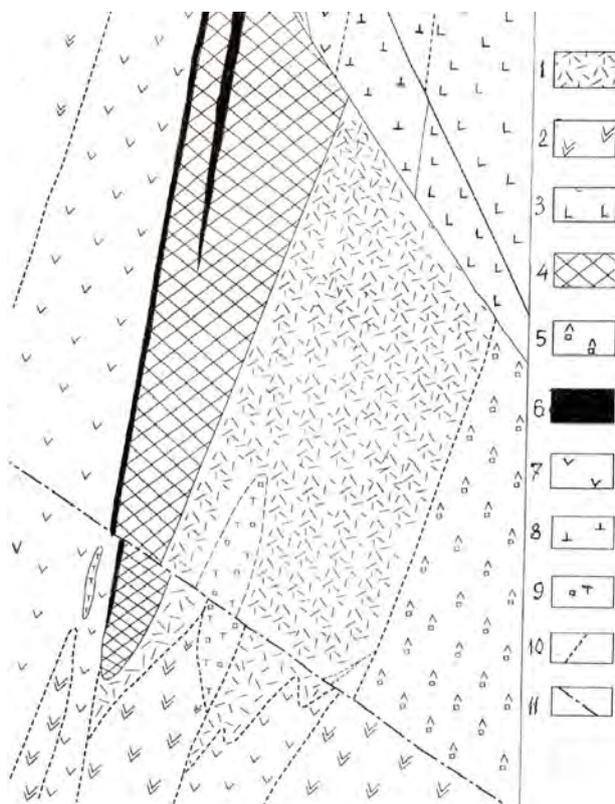


Рис. 2. Разрез центральной части Главной Худесской залежи. Условные обозначения: 1 – пиритизированный метасоматит, 2 – андезиты, 3 – спилиты, 4 – серноколчеданные руды, 5 – кварц – серицит – хлоритовые метасоматиты, 6 – андезито-базальты, 7 – базальты, 8 – туфы и туффиты, 9 – контакты, 10 – тектонические нарушения

В настоящее время только Худесское медноколчеданное месторождение Северного Кавказа рассматривается промышленным кобальтовым месторождением. По массе колчеданных руд и размерам Худесское месторождение занимает первое место среди колчеданов Кавказа. К технологическим сортам руд относятся сплошные медноколчеданные, медно-цинковые и серноколчеданные руды. В серноколчеданных рудах в заметных количествах содержатся кобальт, селен, теллур, которые не имеют собственных минеральных форм, а присутствуют в виде изоморфных примесей в пирите. Обработка документации горных выработок и рудного керна в сочетании с материалом химического анализа бороздовых и керновых проб позволил уточнить распределение кобальта в залежах сплошных руд. В Худесском месторождении содержания кобальта, близкие к промышленным, приурочены исключительно к серноколчеданным рудам (табл. 1).

Таблица 1.

Содержания полезных компонентов в рудах Худесского месторождения

Сорта руд	Медь, %	Цинк, %	Сера, %	Кобальт, %	Нерудные
Медистый колчедан	0,7-3,0	1,0-7,0	37-52	0,02	1-7%
Серный колчедан	0,005-0,7	0,00-0,6	42-53,3	0,067	0,0-8%

Большая часть разрезов гетерогенных залежей Северного Кавказа и Южного Урала представлена сплошными комбинированными колчеданными рудами [Богуш, 1979; Бурцев, Богуш, 2012]. Комбинированные руды на 85-98% сложены автобластической разностью пирита, который формируется в процессе гидротермально-осадочного рудогенеза в результате собирательной перекристаллизации тонкодисперсных седиментных и диагенетических протопиритных агрегатов под влиянием восходящих рудоносных гидротерм, дренирующих через ранее отложенные сульфидные осадки.

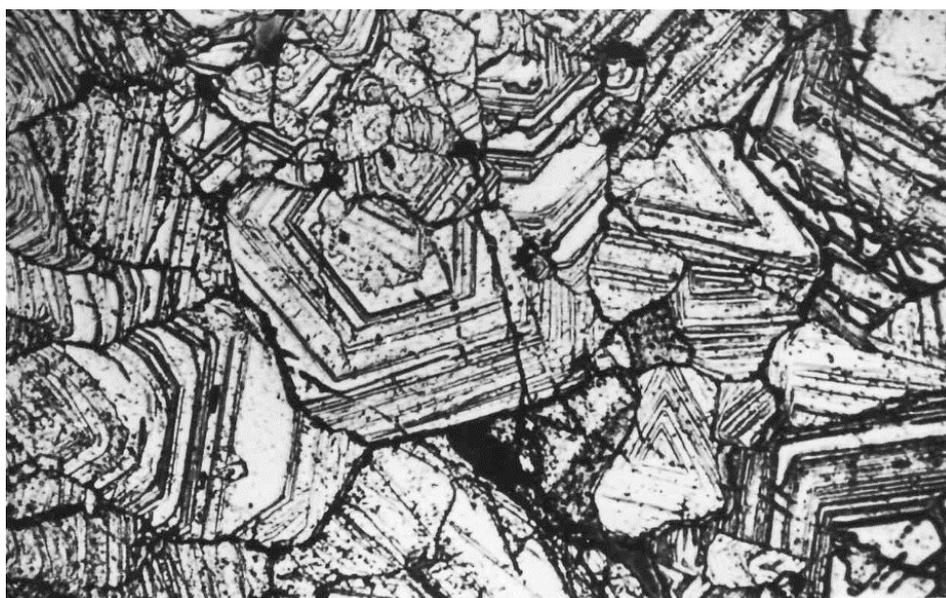


Рис. 3. Кристаллически зрелый пирит с зональностью роста. Массивные серноколчеданные руды Худесского месторождения. Протравлено $\text{HNO}_3 + \text{CaF}_2$, увеличение $30\times$.



Рис. 4. Содержание кобальта по скважине № 31, Главное рудное тело Худесского месторождения. Интервал 49-90 м – медноколчеданные руды, 90-205 м – серный колчедан.

Кристаллически зрелые агрегаты автобластического пирита мелко-грубозернистой структуры слагают сплошные маломедистые и серноколчеданные руды, развитые по мере удаления от кровли к лежащему боку залежей. Типоморфным признаком автобластического пирита является зональность роста I типа [Богущ, 1979; Богущ, 1981; Бурцев, Богущ, 2012], выявляемая при структурном травлении. Электролитическое травление $\text{HNO}_3 + \text{CaF}_2$ автобластического пирита обнаруживает многочисленные четкие тонкие (шириной 0,005-0,025 мм) зоны протравленного пирита, разделенные более тонкими (0,003-0,005 мм) зонами темного цвета протравленного пирита (рис. 1, 2). Число этих парных зон одинаково и в отдельных случаях достигает 185-330.

Размеры зерен автобластического пирита колеблются от 0,5 до 8,0 мм, иногда достигая 2,0-2,5 см. Кристаллобласты пирита морфологически пентагон-додекаэдрического габитуса – пентагон-додекаэдры и комбинации пентагон-додекаэдра и куба. С увеличением числа зон роста в зерне пирита растет и его размерность. В пределах Главной рудной залежи Худесского месторождения распределение кобальта возрастает в сплошных рудах от висячего бока к лежащему (рис. 4). В этом же направлении возрастают размеры зерен кристаллического пирита и количество зон роста [Богущ, 1979; Бурцев, Богущ, 2012]. В самих серноколчеданных рудах кобальт обогащает наиболее кристаллические зрелые пириты с максимальным количеством зон роста и пириты зон синрудного катаклаза. В рудном сечении по скважине 31 от висячего бока к лежащему содержание кобальта заметно возрастает (от 0,02 до 0,12%) от медноколчеданных руд в сторону основания залежи и относительно стабилизируется в высоких значениях, (0,2-0,12%) в рудах серноколчеданных. (рис. 4). В подрудных пиритизированных метасоматитах корневой зоны среднее содержание кобальта невелико по причине малого содержания пирита (5-8%), но в самом пирите выявлены максимальные содержания кобальта – 0,2-0,6%.

Кобальт в колчеданных рудах

К технологическим сортам руд относятся сплошные медноколчеданные, медно-цинковые и серноколчеданные руды. Особое внимание привлекают серноколчеданные руды, в которых в заметных количествах содержатся кобальт, селен, теллур.

Приоритетное положение в этих рудах занимает кобальт, который, не образуя собственных минералов, изоморфно замещает железо.

В процессе просмотра более 1500 полированных шлифов и минералогическое картирование Главной залежи авторы статьи не обнаружили самостоятельных минералов кобальта в сплошных и прожилково-вкрапленных рудах. Спектральные и химические анализы монофракций рудных минералов (пирит, сфалерит, халькопирит) указывают на тесную связь кобальта исключительно с пиритом (кобальтпирит). Спектральные анализы монофракций рудных минералов дают следующие результаты по содержанию кобальта: пирит – 0,2-0,007%, халькопирит – 0,0%, сфалерит – 0,0%.

Кобальт относится к VIII группе периодической системы Менделеева и принадлежит к триаде железо-кобальт-никель. В этой триаде проявляются сходные физические свойства, атомный радиус и значения электроотрицательности. Кларк кобальта составляет $1,8 \times 10^{-3}\%$, в пределах пород разной основности больше всего кобальта в ультраосновных породах – кларк $2,10 \times 10^{-3}\%$, в основных породах – $4,5 \times 10^{-3}\%$, в кислых породах $5 \times 10^{-4}\%$. Это положение объясняет присутствие кобальта в колчеданных рудах Северного Кавказа, локализованных в толщах пород базальтоидного состава. Учитывая близкие ионные радиусы двухвалентных кобальта и железа, соответственно 0,83 Å и 0,82 Å принято считать [Перельман, 1979], что кобальт изоморфно замещает часть железа пирита и накапливается в этом минерале. Содержание кобальта в кобальт-пиритных серноколчеданных рудах варьирует в широких пределах, от 0,003 до 0,20%, среднее 0,067%. В кобальтовых месторождениях Канады, Китая, Колумбии, США, Бразилии, Зимбабве промышленные концентрации кобальта 0,05% вполне сопоставимы с содержаниями металла в серноколчеданных рудах Худесского месторождения [Богущ и др., 2004, 2014]. В известных медно-никелевых месторождениях РФ Норильского района содержания кобальта 0,02-0,039%, а в месторождениях Печенгской группы Кольского полуострова кобальта 0,022-0,039%.

Механизм неравномерного обогащения кобальтом пирита разных участков залежи обуславливается динамикой и направлением роста стратиформной залежи за счет увеличения мощности серноколчеданных руд. В разрезах колчеданных тел Северного Кавказа кобальт максимально увеличивается по содержанию в пирите по мере приближения к корневой зоне. Концентрация кобальта в рудах лежащего бока залежей объясняется максимальным по времени контактом этих руд с рудогенными растворами корневой зоны. Известные кобальтоносные месторождения Урала [Мелекесцева, 2007] вулканогенных комплексов заимствуют кобальт в контактирующих ультрабазитах. Ивановское месторождение этой группы по мнению А. А. Захарова и А. А. Захаровой и А. И. Кривцова [Мелекесцева, 2007] связано с вулканогенными базальтоидами. Аналогом Кавказских кобальтоносных колчеданов является месторождение Дерни в Китае [Wang H. et al., 2000].

Отличительной особенностью субмаринных колчеданных месторождений является отсутствие собственных минералов кобальта в рудах и наличие его изоморфных примесей в пирите и пирротине. Эта особенность полностью сохраняется в колчеданах Северного Кавказа (Худесское, Урупское, Кизил-Дере). Основной проблемой получения кобальта из колчеданов являются отсутствие эффективных технологий его извлечения. В сульфидных рудах кобальт служит составной частью комплексных сложных по составу руд и рассматривается попутным компонентом.

Выводы

Установленная прямая генетическая ассоциация кобальта с серноколчеданными рудами позволяет использовать этот факт для прогноза колчеданного кобальта в колчеданных месторождениях. В приведенных разрезах колчеданных залежей (рис. 1) кизилкольской базальтоидной свиты в типоморфных разрезах повсеместно присутствуют серноколчеданные руды. Проявления кристаллически зрелых анхипиритных серноколчеданных руд служат надежным критерием аномальной кобальтоносности месторождения. С этой позиции наиболее кобальтоносным следует считать Быковское месторождение (не опробованное на кобальт). Высокая кристалличность сплошных маломедистых и серноколчеданных руд Бескесского месторождения также требует оценки их кобальтоносности. Колчеданные месторождения даутской свиты спилито-кератофировой формации также содержат кобальт (0,001-0,006%), содержание которого аномально к фону, но далеко от промышленного. В пластовых телах колчеданов этого типа руды корневой зоны имеют незначительную мощность, а серноколчеданные руды практически отсутствуют.

Литература

1. Богущ И. А. Комбинированные руды колчеданных месторождений Северного Кавказа // Геол. рудных месторождений. – 1979. – № 6. – С. 32-46.
2. Богущ И. А. Тектурно-структурная зональность и онтогенез полигенных колчеданных залежей Северного Кавказа // Геология рудных месторождений. – 1981. – Т. 23. № 5. – С. 41-51.
3. Богущ И. А., Бурцев А. А., Джангиров М. Ю. Кобальтоносность руд на примере Худесского (Северный Кавказ) и Джусинского (Южный Урал) колчеданных месторождений/Проблемы геологии, полезных ископаемых и экологии юга России и Кавказа. Материалы 4-й науч. междунар. конф. Том 2. Актуальные проблемы геологического изучения Южного Региона. – Новочеркасск. – 2004. – С. 189-199.
4. Богущ И. А., Рябов Г. В., Шапошникова С. Д. Кобальтоносность руд медноколчеданных месторождений Северного Кавказа/Известия вузов Сев.-Кавказский регион. Технические науки. – 2014. – № 5. – С. 91-93.
5. Бурцев А. А., Богущ И. А. Онтогенетическая зональность месторождений колчеданного семейства. Verlag: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG Heinrich-Docring-Str/6-8, 66121. Saarbrucken, Deutschland. – 2012. – 444 с.
6. Мелекесцева И. Ю. Гетерогенные кобальт-медноколчеданные месторождения в ультрамафитах палеоостроводужных структур/Ин-т минералогии УРО РАН. – М.: Наука, 2007. – 245 с.
7. Перельман А. И. Геохимия. – М.: Высшая школа, 1979.
8. Рябов Г. В., Богущ И. А. Типизация колчеданных месторождений Северного Кавказа/Известия вузов Сев.-Кавказский регион. Технические науки. – 2012. – № 5. – С. 88-91.
9. Скрипченко Н. С. Гидротермально-осадочные сульфидные руды базальтоидных формаций. – М.: Недра. – 1972. – 216 с.
10. Скрипченко Н. С., Тамбиев А. С. Вулканыты и рудоносность девонского базальтового пояса Северного Кавказа // Геология и минерально-сырьевая база Северного Кавказа. Мат. IX междунар. конф. – Ессентуки. – 2000. – С. 613-628.
11. Large R. R. Chemical evolution and zonation of massivt sulfide deposits in volcanic terrains // Econ. Geol. – 1977. – V. 72, № 2. – P. 549-572.

12. Wang H. Qin J., Tan H., Hou Z. The Derni Cu-Co massive sulfide deposit Qinghai Province, China: Ultramafic volcanic hosted submarine-exhalative mineralization // Explore and Mining. Geol. – 2000. – Vol. 9, № 3/4. – P. 253-264

DOI: 10.23671/VNC.2017.2.9486

COBALT IN SUBMARINE-EXHALATIVE ORES OF SULFIDE DEPOSITS FROM NORTH CAUCASUS

© 2017 I. A. Bogush, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof., S. D. Shaposhnikova, Postgraduate student

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Russia, 346428, Rostov region, Novocherkassk, Puschkinskaya Str., 96, e-mail: i_bogush@mail.ru

In a volcanogenic spilitovo-keratofirovy formation of Devon of the kobalthost of two suites – Kizilkolsky and Dautsky. The anomalous cobalt content developed in a massive exhalative pyritic ores of Kisilkol basalts Suite (Dks₂₋₃). Selected search criteria and types of cobalt-rich massive pyrite ores. The abnormal enrichment by a cobalt only the massive sulfide of autoblastic ores on the example of industrially cobalt Hudess deposits is shown. Localization of the cobalt which is isomorphically entering holocrystalline autoblastic pyrite is proved. The perspective kobaltonosnost of chalcopyrite deposits in submarine-exhalative of North Caucasus rudogenez is defined.

Keywords: North Caucas, pyritic deposit, massive ores, kobalt, pyrite, izmorfny impurity.