

УДК 553.481'43 (571.51)

А.В. Лыгин¹**ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА РУД ВЕРХНЕКИНГАШСКОГО ПЛАТИНОИДНО-КОБАЛЬТ-МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (Красноярский край)**

Медно-никелевые месторождения часто являются источником кобальтовой и благородно-металльной минерализации, что делает их особенно привлекательными как для ученых, так и для промышленников. Объект исследований — новое Верхнекингашское платиноидно-кобальт-медно-никелевое месторождение. Приведены результаты изучения состава руд, взаимоотношения рудных минералов и распределения элементов платиновой группы, кобальта и никеля в рудах Верхнекингашского месторождения.

Ключевые слова: Верхнекингашское месторождение, медно-никелевые руды, рудная геология, пирротин, троилит, распад твердого раствора.

Copper-nickel deposits are often a source of cobalt and PGE-mineralization, which is especially attractive for both scientists and industrialists. Object of the author's research is the new Verhnekingashskoe copper-nickel deposit. Results of studying of ore composition, interrelations of ore minerals and distributions of platinum group elements, cobalt and nickel in ores of the Verhnekingashskoe deposit are described in the article.

Key words: Verhnekingashskoe deposit, copper-nickel ores, ore geology, pyrrhotite, troilite, solid solution.

Последние десятилетия XX в. и начало XXI в. характеризуются постоянным спросом и ростом потребления кобальта, однако мировая промышленность ощущает дефицит в этом металле. В связи с этим поиск и освоение новых кобальтовых и кобальтсодержащих месторождений выходят на передний план развития горнодобывающей отрасли. В то же время добыча платиноидов из медно-никелевых руд часто дает основной вклад в их стоимость, что не может не сказываться на интересах горнорудных компаний. Эти предпосылки определили начало разведочных работ на территории Красноярского края в Восточных Саянах в конце XX в. А уже сейчас Кингашский рудный узел по запасам цветных и благородных металлов и значимости в ресурсно-сырьевой базе РФ может встать в один ряд с такими рудными районами, как Норильский и Печенгский.

В состав Кингашского рудного узла входят Кингашское и Верхнекингашское платиноидно-медно-никелевые (PGE—Cu—Ni) месторождения и ряд рудопроявлений, пока еще не переведенных в ранг месторождений. По материалам агентства Роснедра, Кингашский рудный узел имеет суммарный ресурсный потенциал в 5,5 млн т никеля и 2,3 млн т меди [Третьяков, 2002].

Наиболее перспективный объект в данном районе — Верхнекингашское платиноидно-кобальт-медно-никелевое месторождение. Оно приурочено к двум пространственно сближенным интрузивам габбро-верлит-дуניתового комплекса позднеархейского возраста, залегающим в биотитовых гнейсах караганской серии архейского возраста с отдельными пластообразными телами амфиболитов и кальцифиоров [Глазунов

и др., 2003]. На месторождении широко развиты процессы мигматизации, кроме того, вмещающие породы сильно метаморфизованы в зеленосланцевой и амфиболитовой фациях.

Верхнекингашское месторождение имеет ряд особенностей, отличающих его от других медно-никелевых объектов. Одно из них заключается в том, что хотя руды локализованы в ультраосновных интрузивных породах (как, например, месторождения Печенгского района), они имеют признаки оруденения, связанного с базитами. Например, обилие интерметаллических фаз палладия с висмутом и теллуrom делает сульфидные медно-никелевые руды этого месторождения схожи с рудами норильского типа (по данным Н.А. Криволицкой и др., 2007).

Указанные особенности обуславливают необычность Верхнекингашского месторождения, что вызывает интерес широкого круга исследователей. До сих пор ведутся споры по поводу генезиса интрузивов кингашского комплекса и связанных с ними руд. Ряд исследователей [Еханин и др., 1999; Корнев и др., 2003] рассматривают рудоносные массивы в качестве вулканических образований коматиитовой формации древнего зеленокаменного пояса. Оппоненты этой теории [Глазунов и др., 2001; Резников и др., 2001] утверждают, что массивы закономерно расслоены, а габброиды и перидотиты являются продуктами дифференциации единой родительской магмы. В связи с этим перед автором стояла задача изучить состав и взаимоотношения рудных минералов с целью выяснения природы минерализации Верхнекингашского медно-никелевого месторождения.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии полезных ископаемых, аспирант, e-mail: lyginalecksey@mail.ru

В ходе работы установлено, что руды Верхнекингашского месторождения можно разделить на два основных типа: 1) первично-магматические; 2) эпимагматические и гидротермальные. Второй тип представлен достаточно широко, но, тем не менее, он имеет подчиненное распространение и связан с локальными проявлениями метасоматоза и метаморфизма и приурочен к разрывным нарушениям и зонам дезинтеграции, где образует прожилково-вкрапленные, брекчиевые и реже массивные сульфидные руды. Поэтому основное внимание было уделено изучению минерализованных зон пород, претерпевших постмагматические изменения в наименьшей степени.

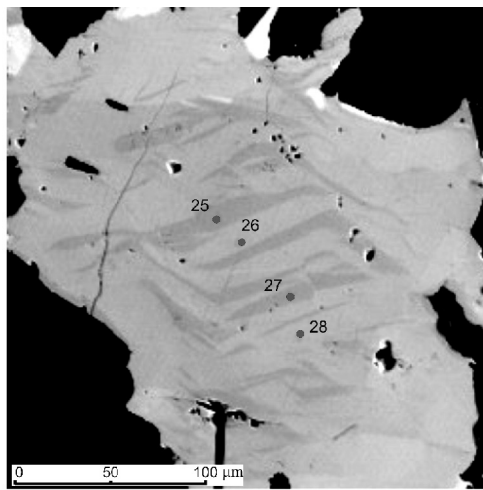
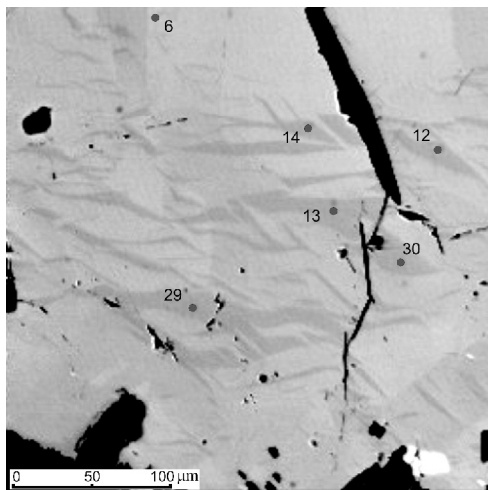
Главный тип руд Верхнекингашского месторождения — вкрапленные сульфидные руды в ультраосновных породах Верхнекингашского и Куевского интрузивов. Сульфидная вкрапленность развита практически по всей мощности дунитов и перидотитов и их метаморфизованных разновидностей (серпентинитов), но содержание сульфидов по разрезу неравномерное и изменяется от 1 до 20%. По густоте и размерам вкрапленников выделяются рассеянно-вкрапленные, густовкрапленные и гнездово-вкрапленные руды. Основные структуры вкрапленных руд — интерстициальная, коррозионная, структуры замещения и распада твердого раствора. Оруденение представлено в основном сингенетической сидеронитовой вкрапленностью пентландита, пирротина и халькопирита (с простой морфологией и размером до 2,5 мм, в среднем около 0,6 мм), развивающейся в промежутках между изометричными зернами оливина и не пересекающей их, что указывает на первично-магматическую природу сульфидов.

Главные рудные минералы руд — магнетит и хромшпинелиды, пентландит, пирротин и халькопирит. Как отмечено выше, соотношения главных рудных минералов в породах месторождения не постоянны: в рудах преобладает пентландит (до 60 отн.%), во вмещающих серпентинитах на первое место выходит пирротин (до 60 отн.%), содержание халькопирита в

сульфидной массе в рудах и во вмещающих породах редко превышает 20 отн.%. Необходимо отметить, что в скважине 131 г в толще верлитов обнаружено закономерное изменение количества пирротина и халькопирита по разрезу. С увеличением глубины доля пирротина уменьшается (до 10 отн.%), а доля халькопирита повышается (от 1 до 15 отн.%). Известно, что при спокойной кристаллизации магматического расплава происходит гравитационная дифференциация, т.е. пирротин как более ранний минерал оседает на дно магматической камеры, а выше по разрезу остается халькопиритовая часть расплава. Поэтому такое распределение пирротина и халькопирита свидетельствует, что Верхнекингашский интрузив можно рассматривать как расслоенный массив, а также указывает на его опрокинутое залегание. Указанное подтверждается и положением габброидов в современном лежащем боку, а минерализованных ультрабазитов — в висячем.

Содержание пирротина — второго по распространности минерала — составляет до 45–50 отн.%. В габброидах и метасоматических породах пирротин преобладает, а порой является единственным минералом рудного комплекса. Во вкрапленных рудах месторождения развит преимущественно троилит FeS и гексагональный пирротин Fe_{1-x}S , в отдельных случаях диагностирован моноклинный Fe_7S_8 . Размеры отдельных зерен пирротина во вкрапленных рудах не превышают 1–3 мм, а в среднем составляют 0,5 мм.

В ходе изучения минерального состава Верхнекингашского месторождения в аншлифах, сделанных по образцам из керна скважины 131 г, автор впервые обнаружил и описал структуры распада твердого раствора пирротина в троилите (рисунок). В аншлифах 131 г/119,5 и 131 г/142 такие структуры встречаются во всех зернах троилита размером более 0,15 мм; глубже по разрезу троилит, а соответственно и подобные структуры не диагностированы. Ламели пирротина обычно имеют ширину 1–20 мкм и длину до 150 мкм. Они приурочены к центральным частям зерен, реже образуют каймы вдоль их границ с серпентинизи-



Структуры распада твердого раствора пирротина (темно-серое) в троилите (светло-серое) с вкрапленниками халькопирита (белое). Цифрами отмечены номера точек микрозондовых измерений, приведенные в таблице. Изображения в обратно-рассеянных электронах («Cameca SX100», аншлиф № 131 г/119,5)

Результаты микронзондового анализа структур распада твердого раствора троилит (Tr)–пирротин (Po)*

№	Фаза	S	Fe	Pt	Ni	Σ	№	Фаза	S	Fe	Pt	Ni	Σ
1	Tr	36,35	64,92	0	0,05	101,45	16	Po	38,58	62,18	0,16	0,12	101,12
2	Tr	36,42	64,74	0,29	0,03	101,50	17	Tr	36,57	65,18	0	0,03	101,85
3	Tr	36,52	65,22	0,38	0,02	102,17	18	Tr	36,52	64,00	0	0,02	100,60
4	Tr	36,56	65,19	0,40	0,13	102,38	19	Po	38,48	61,63	0,35	0,35	100,92
5	Tr	36,39	65,45	0	0,07	101,97	20	Tr	36,3	64,24	0	0,09	100,73
6	Tr	36,43	64,74	0,34	0,08	101,60	21	Po	38,41	62,35	0	0,44	101,21
7	Tr	36,42	64,69	0	0	101,30	22	Tr	36,35	65,04	0,32	0,04	101,86
8	Po	38,48	62,10	0,62	0,53	101,83	23	Po	38,66	62,39	0,54	0,48	102,15
9	Po	38,56	62,75	0,71	0,44	102,53	24	Tr	36,56	64,71	0,06	0	101,38
10	Po	38,55	62,82	0,28	0,43	102,20	25	Po	38,45	62,26	0,11	0,48	101,40
11	Po	38,44	62,79	0	0,4	101,67	26	Po	38,5	61,83	0,35	0,42	101,30
12	Po	38,52	62,34	0,24	0,36	101,74	27	Tr	36,41	64,45	0	0,07	100,95
13	Po	38,59	62,46	0,58	0,44	102,14	28	Po	38,56	61,88	0,13	0,49	101,11
14	Po	38,58	62,75	0	0,51	102,03	29	Tr	36,43	64,76	0,19	0	101,45
15	Po	38,83	62,78	0	0,13	101,85							

* «Cameca SX 100», аншлиф № 131 г/119,5.

рованным оливином. Ламели часто вытянуты вдоль продольной оси зерна троилита и образуют так называемый звериный рисунок, местами формируя подобие сетки с углами 130° и более.

Для выяснения химического состава обеих минеральных фаз проведены микронзондовые исследования в Институте геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН на приборе «Cameca SX100» (аналитик Н.Н. Кононкова) (таблица). В результате рассчитаны эмпирические формулы: троилит $Fe_{1,02}S$ и пирротин $Fe_{0,93}S$.

В этих же фазах определено содержание элементов-примесей. Оказалось, что в троилите отмечено содержание Ni, превышающее 0,15 вес.%, в то время как в пирротине концентрация Ni колеблется от 0,35 до 0,53 вес.%, и только в пирротине, образующем каймы вдоль границы троилит–оливин (№ точек измерения 19, 20, таблица), содержание Ni уменьшается до 0,12–0,13 вес.%. Интересные наблюдения сделаны при рассмотрении содержания платины и кобальта. В пирротине содержание Pt и Co колеблется от нуля до 0,7 вес.% и от нуля до 0,16 вес.% соответственно. В троилите содержание этих элементов-примесей в среднем ниже и не превышает 0,4 вес.% Pt и 0,07 вес.% Co. Содержание меди в обеих фазах в среднем равное и не превышает 0,14 вес.%.

Известно, что троилит относится к редким минералам, а подобные структуры распада описаны пока только на четырех геологических объектах. К ним относятся месторождения Норильского района [Генкин и др., 1981], медное месторождение Луикониаhti в Финляндии [Vogta et al., 1970], японские медно-колчеданные месторождения Акагане и Камайши [Nambu et al., 1976] и океанические габбро в Юго-Западной Индоокеанской рифтовой зоне (скв. Leg 118) [Miller et al., 2002]. Однако на Верхнекингашском

месторождении и вышеперечисленных объектах во взаимоотношениях пирротина и троилита выявлены отличия. Во-первых, пирротин является основным минералом данной структуры, а троилит занимает подчиненное положение везде, за исключением месторождений Норильского района (где количественные соотношения пирротина и троилита варьируют в широких пределах) и Верхнекингашского месторождения. Это может указывать на то, что здесь магма была более насыщена серой (или фугитивность серы была значительно выше).

Согласно данным [Arnold, 1969; Kissin et al., 1982], образование пирротин–троилитовых сростаний обусловлено субсолидным превращением и распадом моносльфидного раствора при температуре ниже 150 °С, а состав минералов и их количественные соотношения определяются его составом, отношением S/Fe и фугитивностью серы. Во-вторых, пирротин из Верхнекингашского месторождения имеет более высокую отражательную способность, чем троилит, что не характерно для всех вышеупомянутых объектов. Вероятно, это вызвано тем, что в структуру пирротина входят примеси Co, Ni и Pt.

Заключение. Таким образом, совокупность приведенных данных позволяет говорить о том, что Верхнекингашское месторождение является первично-магматическим и сопряжено с расслоенной интрузией габбро–верлит–дунитового комплекса. Кроме того, все главные рудные минералы характеризуются повышенным содержанием PGE, а пирротин, находящийся в ассоциации с троилитом, отличается повышенной концентрацией Ni и Co. Автор впервые для Верхнекингашского месторождения обнаружил структуры распада твердого раствора пирротин–троилит, в которых пирротин занимает подчиненное положение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Генкин А.Д., Дистлер В.В., Гладышев Г.Д.* и др. Сульфидные медно-никелевые руды норильских месторождений / Отв. редактор Т.Н. Шадлун. М.: Наука, 1981. 234 с.
- Глазунов О.М., Богнибов В.И., Еханин А.Г.* Кингашское платиноидно-медно-никелевое месторождение. Иркутск: Изд-во ИГТУ, 2003. 192 с.
- Глазунов О.М., Павлова Т.П., Прокопчук С.И.* Кингашская рудно-магматическая система (КРМС) // Платина в геологических формациях Сибири / Тез. докладов. Красноярск: РИЦ КНИИГиМС, 2001. С. 119–121.
- Еханин А.Г., Некос В.В., Шведов Г.И.* и др. Геологическое строение и рудоносность Кингашского массива (Восточный Саян) // Минералы и руды Красноярского края. Красноярск: РИЦ КНИИГиМС, 1999. С. 56–65.
- Корнева Т.Я., Еханин А.Г., Романов А.П.* и др. Канский зеленокаменный пояс и его металлогения (Восточный Саян). Красноярск: РИЦ КНИИГиМС, 2003. 133 с.
- Резников И.Г., Прохорова В.А., Козырев С.М.* Платиноносность Кингашского месторождения // Платина в геологических формациях Сибири / Тез. докладов. Красноярск: РИЦ КНИИГиМС, 2001. С. 126–130.
- Третьяков Н.А.* Кингашский рудный район. ОАО «Красноярская горно-геологическая компания» (АО «Красноярскгеология»). Красноярск, РИЦ КНИИГиМС, 2002. 41 с.
- Miller D.J., Cervantes P.* Sulfide mineral chemistry and petrography and platinum group element composition in gabbroic rocks from the Southwest Indian Ridge // World Wide Web. URL: <http://www-odp.tamu.edu/publications/176_SR/chap_07/chap_07.htm> (21.02.2000).
- Nambu M., Kano S., Muramatsu Y.* Troilite from the Akagane and Kamaishi mines, Iwate Prefecture, Japan // Jour. of Japanese Association of Mineralogists, Petrologists and Economic Geologists. 1976. Vol. 71. P. 18–26.
- Vorma A.* Pyrrhotite-troilite intergrowth from Luikoniahti copper deposit, eastern Finland // Geol. Soc. of Finland Bull. 1970. Vol. 134. P. 76.

Поступила в редакцию
13.10.2009