DOI:10.47765/0869-7175-2020-10029

УДК 553.062.4
© М.Р.Нестеренко, 2020

Строение и состав пикритовых габбро-долеритов центральной части Октябрьского месторождения

М.Р.НЕСТЕРЕНКО (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»; 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, д. 1)

Вопросы генезиса и условий формирования месторождений Норильского района до сих пор остаются дискуссионными. Наиболее распространённой на данный момент является модель образования руд в открытой магматической системе. В данной работе изучались строение и состав сульфидных минералов центральной части Октябрьского месторождения по двум скважинам РТ-30 и РТ-107 бис, вскрывающим рудные тела С-3 и С-4, соответственно. Особое внимание в работе было уделено закономерностям строения вкрапленных руд в горизонте пикритовых габбро-долеритов. Установлено, что сульфидная вкрапленность практически отсутствует в верхней части горизонта и её размер и количество постепенно возрастают с глубиной, а в нижней части горизонта вкрапленность переходит в сульфидные прожилки. Это указывает на гравитационное осаждение сульфидов в закрытой магматической системе.
Ключевые слова: платино-медно-никелевые месторождения, Норильский район, магматизм, сульфиды.

Нестеренко Мария Руслановна nesterenko-masha@mail.ru

Structure and composition of picritic gabbro-dolerites of the Octyabrskoye deposit central part

M.R.NESTERENKO (Lomonosov Moscow State University)

Issues relating to the genesis and deposit formation conditions in the Norilsk region are still debatable. At present, ore formation model in an open magmatic system is most popular. To study the actual process, the structure and composition of sulfide minerals in the Oktyabrskoye deposit central part were examined in two boreholes, RT-30 and RT-107, that reveal orebodies C-3 and C-4, respectively. Particular attention was paid to the structural patterns of disseminated ores in picritic gabbro-dolerites horizon. It has been established that sulfide inclusions are missing in the upper part of the horizon and their size and quantity gradually increase in depth, so that these inclusions grade into sulfide streaks in the lower part of the horizon. This indicates gravitational sulfide deposition in a closed magmatic system.
Key words: PGE-Cu-Ni deposits, Norilsk area, magmatism, sulfides.

Норильские месторождения, расположенные на северо-западе Сибирской платформы (рис. 1), являются уникальными в мире по запасам никеля и металлов платиновой группы. На их основе в нашей стране создана крупнейшая минерально-сырьевая база цветных и благородных металлов, освоением которой занимается ОАО «ГМК «Норильский никель», поставляющее на мировой рынок эти металлы. Тем не менее проблема поиска новых месторождений стоит достаточно остро. Важную роль при этом играют теоретические представления об условиях формирования месторождений.

Вопросы генезиса сульфидных медно-никелевых руд норильских месторождений остаются дискуссионными, несмотря на длительную историю изучения. Это связано с необычным строением данных месторождений по сравнению с другими объектами, а именно приуроченностью крупных рудных тел сульфидов к сравнительно маломощным интрузивам габбро-долеритов. За время изучения норильских месторождений были предложены многочисленные гипотезы их образования, главной из которых была магматическая [2, 6]. Наиболее популярными моделями в рамках этой гипотезы являются модели

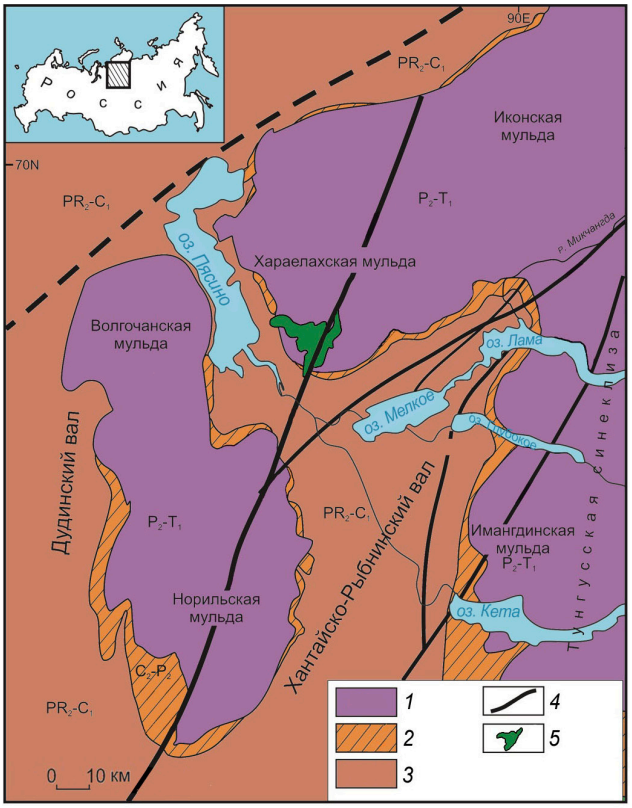


Рис. 1. Геологическая карта Норильского района. *По [5], с изменениями*:

1 – вулканогенные породы трапповой формации; *2* – осадочные отложения; *3* – карбонатно-терригенные породы; *4* – глубинные разломы; *5* – проекция сульфидоносного Талнахского интрузива

формирования руд в закрытой [3–6] и открытой [7, 8, 12] магматической системах. Важную роль в них играют пикритовые габбро-долериты, в которых сосредоточена основная часть вкрапленных руд. Для аргументированного суждения об этом процессе автор данной статьи изучила строение пикритовых горизонтов и поведение сульфидов внутри них в Хараелахском интрузиве, вмещающем крупнейшее в районе Октябрьское месторождение.

Объекты и методы исследования. Для исследования были выбраны скважины РТ-30 и РТ-107 бис, пробуренные ООО «Норильскгеология» в центральной части Октябрьского месторождения в 2015–2016 гг. (рис. 2), из которых было отобрано 87 образцов. В ходе работы проводились фотодокументация керна, петрографическое описание пород, изучение состава породообразующих и сульфидных минералов. Определение составов породообразующих минералов осуществлялось с помощью электронного микрозондового анализатора Cameca SX 100 в ГЕОХИ РАН (аналитик Н.Н.Кононкова). Условия съёмки: ускоряющее напряжение 15 кВ, ток 40 нА. В качестве эталонов использовали минералы и оксиды, схожие по физико-химическим свойствам с исследуемыми минералами.

Главные компоненты в породах определялись с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра последовательного действия с дисперсией по длине волны, модель PW 2400 (Philips Analytical) в ИГЕМ РАН (аналитик А.И.Якушев). Относительные погрешности составляют (в отн.%): SiO_2 – 0,8, Al_2O3 – 3,5, Fe_2O_3 – 2,1, Na_2O – 8,0, MgO – 4,6, P_2O_5 – 9,3, K_2O – 16,0, CaO – 5,0, TiO_2 – 7,0, MnO – 21,0. Для определения содержаний редких элементов в породах применялся метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) в ИПТМ РАН (аналитик В.К.Карандашев).

Краткие сведения о геологическом строении Норильского района и Октябрьского месторождения. Платино-медно-никелевые месторождения Норильского района приурочены к северной части Сибирской платформы, где они ассоциируют с раннетриасовыми трапповыми интрузивами [4]. В строении платформы выделяются кристаллический фундамент и платформенный чехол, сложенный терригенно-карбонатными породами рифея–поздней перми.

Интрузивные образования в основном локализованы в осадочных породах девона и тунгусской серии (C_2–P_1). Они подразделяются на ергалахский, оганерский и норильский, моронговский, далдыканский, авамский комплексы. К норильскому комплексу отнесены полнодифференцированные интрузивы, в разрезе которых наблюдается закономерная смена габбро-долеритов (снизу вверх): контактовые; такситовые; пикритовые; оливиновые, оливин-биотитовые, оливинсодержащие, безоливиновые габбро-долериты; выше залегают габбро-диориты; такситовые габбро-долериты и лейкократовые габбро (верхние); а также контактовые габбро-долериты (верхние).

В Норильском районе широко известны три месторождения сульфидных медно-никелевых руд – Октябрьское, Талнахское и Норильск 1. Самое крупное из них – Октябрьское.

Позиция Октябрьского месторождения в геологической структуре Норильского района определяется его приуроченностью к Хараелахскому полнодифференцированному интрузиву в южной части Хараелахской вулкано-тектонической мульды в пределах Талнахского рудного узла (см. рис. 2).

Форма массива сложная, но в целом близкая к хонолитовой (линзообразной). В центральной части он представляет собой единое интрузивное тело, а на западном фланге интрузив постепенно расще-

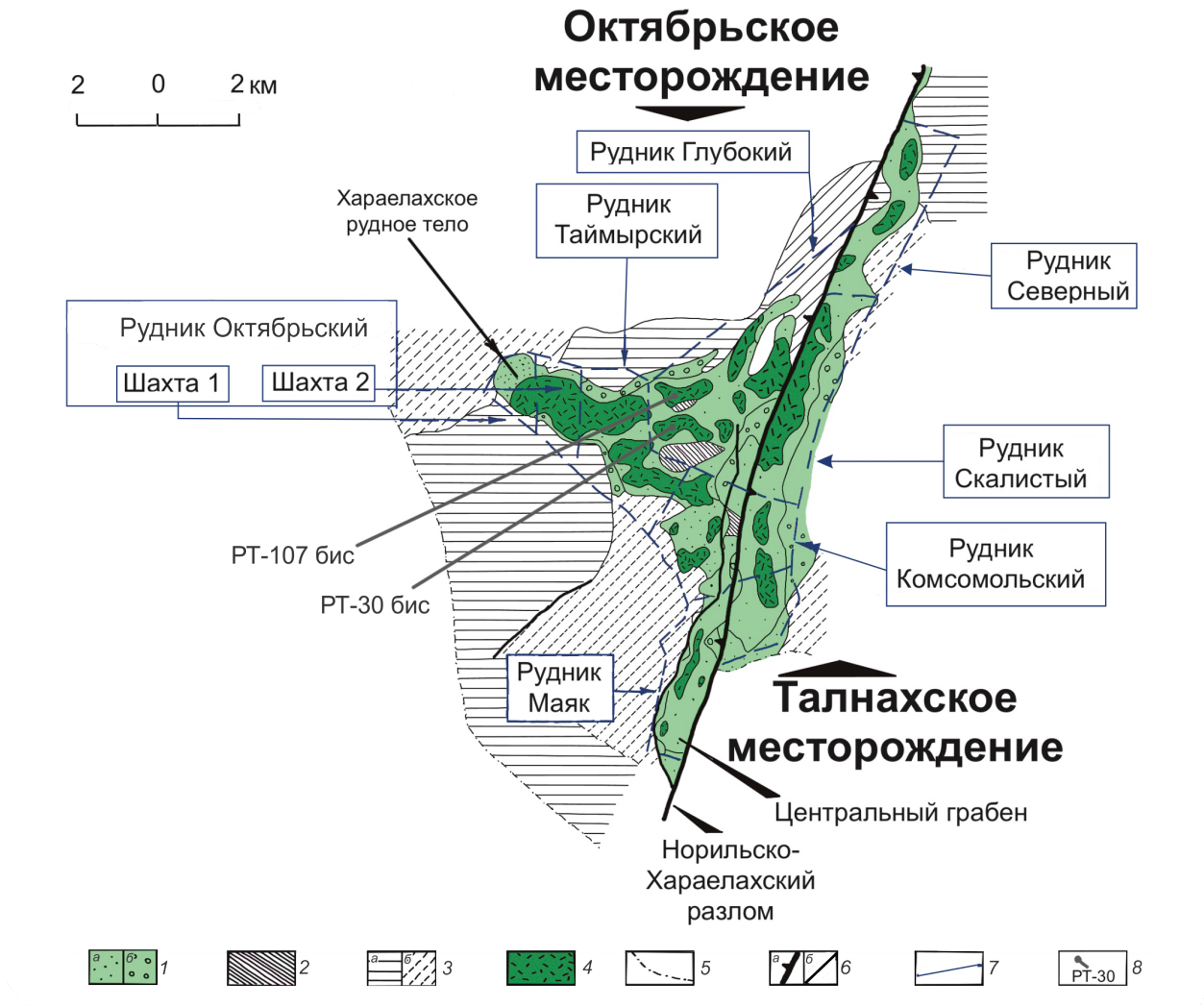


Рис. 2. Схема расположения залежей массивных руд и скважин. *По [7], с изменениями*:

1 – основные тела рудоносных интрузивов: *а* – с участием пикритовых и(или) такситовых габбро-долеритов и вкрапленных руд, *б* – краевые зоны без пикритовых и такситовых габбро-долеритов и вкрапленных руд; *2* – окна в основных телах без пикритовых и такситовых габбро-долеритов и вкрапленных руд; *3* – периферические силлы рудоносных интрузивов: *а* – нижнего стратиграфического уровня (для Харaелахского интрузива – в нижней–срежней частях разведочнинской свиты, для Талнахского интрузива – в зубовской и курейской свитах), *б* – верхнего стратиграфического уровня (для Харaелахского интрузива – в верхах разведочнинской свиты и в мантуровской свите, для Талнахского интрузива – вблизи контакта отложений девона и тунгусской серии); *4* – массивные сульфиды, залегающие вблизи подошвы интрузивов; *5* – эрозионные границы интрузивов и периферических силлов; *6* – разрывные нарушения: *а* – Норильско-Харaелахский разлом, *б* – некоторые другие важные разломы (большинство разломов на плане не изображено); *7* – границы полей рудников; *8* – буровые скважины

пляется на ряд послойно расположенных тел и множество мелких апофиз.

В пределах Октябрьского месторождения в результате разведки было выявлено более 15 залежей массивных руд разного размера и состава. Наиболее крупной из них является основная Харaелахская залежь Х-1 (О) (см. рис. 2), описанная во многих публикациях.

Вкрапленные руды приурочены главным образом к двум горизонтам интрузивного тела – пикритовых и такситовых габбро-долеритов, а также локализованы во вмещающих породах.

В центральной части месторождения расположены две линзы – С-3 и С-4, приуроченные к области нижнего контакта интрузива с вмещающими породами. Они и явились предметом исследований вместе

с локализованными выше вкрапленными рудами в пикритовых габбро-долеритах. Строение центральной части Хараелахского массива характеризуется типичной дифференцированной структурой, характерной для всех массивов норильского района. Основным отличием центральной части от остальных флангов месторождения является наличие полного интрузивного разреза и мощного горизонта пикритовых габбро-долеритов.

Результаты исследований. При изучении внутреннего строения интрузивных тел главное внимание было обращено на сульфиды (особенно локализованные в пикритовых габбро-долеритах) – их распределение, изменение размера и состава по разрезу.
Общая характеристика. Залежи центральной части месторождения отличаются по своему составу. Руды залежи С-3, вскрытые скважиной РТ-30, принадлежат в основном к пирротиновому минеральному типу. Массивные руды залежи С-4 подразделяются на кубанитовые и халькопиритовые (скв. РТ-107 бис).

Две залежи близки по мощности (в РТ-30 – 102 м, в РТ-107 бис – 90 м), но расположены на разной глубине (для РТ-30 – 1456–1575, а для РТ-107 бис – 1614–1704 м). Они обе имеют типичное строение для полно дифференцированного массива. В целом разрезы похожи, но в верхней части в скважине РТ-30 обнаружен горизонт лейкогаббро, а в РТ-107 бис горизонт верхних такситовых габбро-долеритов. Мощности пикритового горизонта и сплошных руд в скважине РТ-30 больше, чем в РТ-107 бис (40 м пикритовых габбро-долеритов и 17 м сплошных руд в РТ-30, в РТ-107 бис – 30 м и 3 м, соответственно) (рис. 3).

Строение интрузивного тела по скважинам. В результате детального изучения скважин РТ-30 и РТ-107 бис были выделены следующие горизонты в строении интрузивного тела в данной части месторождения (снизу вверх):

• Нижние контактовые габбро-долериты залегают в основании интрузивного тела и представляют собой изменённые мелкозернистые массивные или пойкилоофитовые габбро-долериты, схожие с оливинсодержащими или оливиновыми габбро-долеритами.

• Такситовые габбро-долериты, так же как и породы пикритового горизонта, являются наиболее характерными образованиями полнодифференцированных интрузивов. Макроскопически они представляют собой пёстро-серую породу с атакситовой текстурой. Крупнозернистые участки плагиоклаз-пироксенового состава с пойкилоофитовой структурой сочетаются с мелкозернистыми выделениями плагиоклаз-оливинового состава.

• Пикритовые габбро-долериты – мелко-среднезернистые массивные, реже пятнистые породы тёмно-серого цвета. Содержание оливина в них может достигать 50%. Они имеют пойкилоофитовую структуру. В этом горизонте наблюдается следующая особенность: неравномерное распределение шлировидных изометричных и неправильной формы скоплений плагиоклаза и пироксена, размером достигающих десятки сантиметров. Это так называемые лейкократовые обособления.

• Оливиновые, оливинсодержащие и безоливиновые габбро-долериты – массивные мелко-среднезернистые породы серого цвета. Характерна пойкилоофитовая структура, особенно в нижней части горизонта. Контакт между породами очень постепенный, количество оливина растёт с глубиной нелинейно. Контакт с пикритовым горизонтом нерезкий, но ясный из-за изменения цвета породы и структуры.

• Крупнозернистые лейкогаббро светло-серого цвета с массивной, реже такситовой текстурой. Иногда в них отмечаются повышенные содержания платиноидов. Над ними залегают верхние такситовые габбро-долериты, которым свойственны повышенные содержания платиноидов. Макроскопически породы пёстро-серые, с атакситовой текстурой и различными структурами. Верхние такситовые габбро-долериты и лейкогаббро встречаются не во всех скважинах. Например, РТ-107 бис отсутствует горизонт лейкогаббро, а в РТ-30 нет верхнего такситового горизонта.

Завершают разрез интрузивного тела верхние контактовые габбро-долериты, похожие по составу и строению на нижние контактовые габбро-долериты (см. рис. 3).

Петрография и породообразующие минералы. Основными породообразующими минералами Хараелахского интрузива, к которому приурочено Октябрьское месторождение, являются оливин, плагиоклаз, клинопироксен, реже встречается ортопироксен.

Оливин ($Fo_{73–61}$) присутствует во всех дифференциатах интрузива, исключая породы верхней части разреза – кварцсодержащие и безоливиновые габбро-долериты. Отмечается свойственное для дифференцированных интрузивов увеличение количества минерала от зон контакта интрузивного тела к горизонту пикритовых габбро-долеритов. Но эта закономерность усложняется переслаиванием пород с различным содержанием оливина в пикритовом горизонте и чередованием оливинсодержащих и безоливиновых пород, а также неравномерностью распределения оливина в такситовых габбро-долеритах.

Одним из наиболее распространённых минералов дифференцированного интрузива является клинопироксен. Он присутствует во всех дифференциатах, включая эндоконтактовые фации, и сохраняется

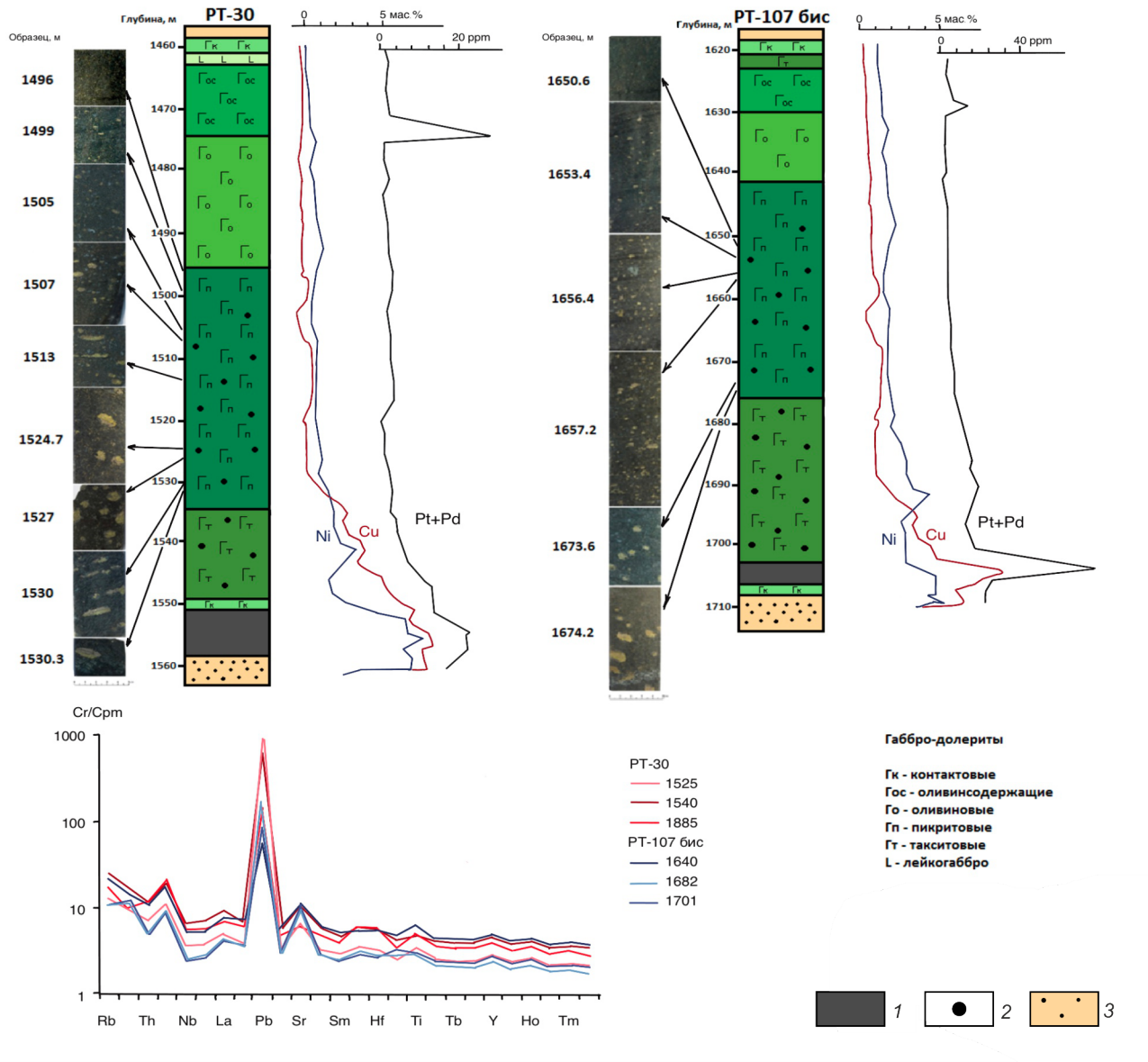


Рис. 3. Строение интрузивного тела в скважинах РТ-30 и РТ-107 бис:

руды: *1* – массивные, *2* – вкрапленные; *3* – осадочные породы

как наиболее стойкий минерал в почти полностью изменённых породах. Представлен авгитом (#Mg=79–65) (см. таблицу).

В породах интрузивного тела широко распространены плагиоклазы ($An_{78–47}$). Они присутствуют во всех дифференциатах интрузии, часто доминируя по содержанию над другими породообразующими минералами.

Распространённость ортопироксена в разрезе интрузива весьма ограниченна. Его содержание обычно не превышает 5%. Он приурочен к наиболее основным и ультраосновным горизонтам. В малых количествах ортопироксен присутствует в такситовых, оливиновых и контактовых габбро-долеритах.

Характеристика вкрапленных руд в пикритовых габбро-долеритах. Горизонт пикритовых габбро-долеритов является одной из важнейших составляющих дифференцированных интрузивов. Его состав наиболее близок к ультрабазитам за счёт увеличения содержания оливина. Состав пикритового

1. Состав породообразующих минералов Хараелахского интрузива (в масс.%)

Образцы	Na_2O	MgO	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	CaO	TiO_2	FeO	MnO	Cr_2O_3	Total
	Оливин										
1495	0,02	38,02	39,32	0,04	0	0,1	0,06	22,49	0,42	0,06	100,55
1497	0,07	41,64	38,63	0,07	0,04	0,14	0,03	17,44	0,27	0,02	98,35
1505	0	37,27	39,89	0,07	0,01	0,1	0,02	20,14	0,31	0,11	97,92
1662*	0,02	38,49	38,34	0,05	0	0,13	0,03	23,01	0,31	0,06	100,45
1665.4*	0,04	37,92	38,67	0,05	0,01	0,23	0,02	22,6	0,36	0,05	99,95
1677.9*	0,01	39,4	38,06	0,07	0,02	0,14	0,05	21,02	0,27	0	99,02
	Клинопироксен										
1497	0,44	17,5	51,23	2,48	0,04	19,94	1,16	6,5	0,17	0,79	100,25
1505	0,28	16,52	52,68	2,65	0	20,77	0,49	5,61	0,15	0,88	100,04
1514	0,38	17,3	53,51	1,75	0	20,14	1,05	6,78	0,18	0,11	101,22
1652*	0,46	16,62	52,31	1,95	0	20,52	1,06	6,75	0,29	0,46	100,42
1662*	0,38	16,78	51,08	2,37	0	19,07	1,3	7,22	0,29	0,58	99,06
1677.9*	0,3	16,1	51,41	2,87	0,01	20,34	0,54	7,6	0,2	0,66	100,03
	Плагиоклаз										
1495	3,55	0,05	51,54	29,84	0,17	14,35	0,07	0,31	0,03	0,05	99,95
1505	3,07	0,04	50,23	31,06	0,13	14,47	0,05	0,46	0,02	0	99,53
1514	3,23	0,13	49,55	34,07	0,1	15,53	0,03	0,72	0,04	0,03	103,43
1652*	3	0,05	49,64	31,54	0,14	15,11	0,03	0,55	0,02	0,01	100,06
1662*	4,76	0,04	52,68	31,3	0,28	12,01	0,09	0,41	0,01	0,04	101,61
1677.9*	2,38	0,1	48,14	34,46	0,09	16,05	0,06	0,99	0,08	0,03	102,38
	Ортопироксен										
1495	0,02	26,76	55,12	1,15	0,01	0,9	0,19	13,98	0,35	0,36	98,84
1497	0,04	29,53	55,09	1,1	0,01	1,06	0,32	12,95	0,36	0,07	100,53
1506	0,08	27,05	56,33	0,89	0	1,95	0,61	12,22	0,3	0,14	99,58
1652*	0,02	23,32	53,13	0,98	0	1,99	0,41	20,26	0,64	0,03	100,79
1662*	0,08	27,93	53,73	0,91	0,03	1,87	0,49	13,04	0,29	0,08	98,45
1665.4*	0,06	28,81	55,63	0,55	0	1,15	0,4	14,37	0,46	0,05	101,48

Примечание. Образцы: 1505 – глубина по скв. РТ-30 (м), 1655* – глубина по скв. РТ-107 бис (м).

габбро-долерита (в об.%): Ol – 40–60, cPx – 20–30, Pl – 30–40, oPx – 5, Sp – 0–10, Sulfides – 1–15. В полнодифференцированных массивах эти породы имеют ряд особенностей, которые отличают интрузии этого типа от других стратифицированных массивов медно-никелевых месторождений мира. К числу таких особенностей следует отнести наличие хромитовой минерализации, магнезиального оливина и развитие наряду с собственно пикритовыми габбро-долеритами пород, близких по составу к троктолитам и плагиоклазовым перидотитам. А главное, что только в пикритовых габбро-долеритах полнодифференцированных интрузивных тел широко распространена наиболее богатая сульфидная минерализация.

Пикритовые габбро-долериты тёмно-серого цвета, мелкокристаллические, массивные, вскрыты скв. РТ-30, в верхней части горизонта однородные. Начиная с 1496 м в них появляются включения плагиоклаза до 1,5 см и сульфидная интерстиционная вкрапленность (10%) размером 2–3 мм (см. рис. 3, образцы

1496, 1499). С 1502 м, помимо интерстиционной вкрапленности, появляются расслоенные вкрапленники пирротин-халькопиритового состава (10%) размером до 5 мм (см. рис. 3, обр. 1505). С 1506 м количество сульфидных вкрапленников увеличивается до 15%, а их размер – до 1 см. При этом размер вкрапленников плагиоклаза уменьшается до 5 мм (см. рис. 3, обр. 1507). С 1510 м продолжается постепенное увеличение в размере сульфидных вкрапленников (до 2,5 см), а также меняется их морфология: они становятся сильно уплощёнными и вытянутыми в горизонтальном направлении. Скопления плагиоклаза увеличиваются до 5 см (см. рис. 3, обр. 1513). С 1514 по 1518 м включения плагиоклаза уменьшаются до 0,5–1 см, а размер сульфидных вкрапленников – до 1 см. С 1518 м вкрапленники сульфидных минералов и плагиоклаза переходят от уплощённых к изометричным (до 1,5 см), а начиная с 1528 м количество сульфидных вкрапленников сильно возрастает (от 5% до 12–15%) (см. рис. 3, образцы 1524,7, 1527). В нижней части горизонта выделения сульфидных минералов снова становятся уплощёнными и увеличиваются в размере (до 2,5 см), но содержание их в породе снижается до 10% (см. рис. 3, образцы 1530, 1530,3). Также встречаются прожилки сульфидов мощностью до 1 см.

Пикритовые габбро-долериты, вскрытые скважиной РТ-107 бис, обладают следующим строением. С 1649 м начинается переходная зона от оливиновых к пикритовым габбро-долеритам. Порода мелко- и среднекристаллическая, пятнистая, зеленовато-серая с гнездообразной вкрапленностью сульфидов (3%, <1 мм). С 1650 м начинаются пикритовые габбро-долериты – однородные, тёмно-серые, массивные, мелкокристаллические. Пирротин-халькопиритовая гнездообразная вкрапленность располагается в интерстициях (4%, <1 мм) (см. рис. 3, обр. 1650,6). С 1651 м, помимо гнёзд, появляются вкрапленники размером до 3 мм, общее содержание сульфидов в породе составляет 5%. С 1652 м размер вкрапленников достигает 4–5 мм, общее содержание сульфидов в породе – 7% (см. рис. 3, обр. 1653,4). С 1654 м содержание пирротин-халькопиритовых расслоенных вкрапленников составляет 10%, появляются вкрапленники и прожилки плагиоклаза (вкрапленники размером до 2 см, прожилки 5–7 мм). С 1655 м крупные выделения сульфидов в размере достигают 2 см, а средний размер расслоенных пирротин-халькопиритовых вкрапленников составляет около 1 см. Помимо них, в породе присутствуют скопления плагиоклаза размером до 3 см, а также прожилки (1–2 мм). С 1656 м размер вкрапленности уменьшается до 3–5 мм (15%), скопления плагиоклаза тоже уменьшаются до 1,5 см (см. рис. 3, обр. 1656,4). С 1657 м появляется талнахит, содержание которого к 1660 м постепенно возрастает (см. рис. 3, обр. 1657,2). С 1659 м, помимо вкрапленников, снова возникает гнездообразная вкрапленность в интерстициях, но каплевидная расслоенная вкрапленность преобладает (3–4 мм, 15%). В интервале 1665,4–1665,7 м размер вкрапленников уменьшается до 2 мм (10%). С 1666 м выделения пирротин-халькопирит-талнахитового состава вновь увеличиваются до 5 мм, помимо них, присутствует гнездообразная вкрапленность (7–10%). Плагиоклазовые вкрапленники также сохраняются и достигают 1–2 мм в диаметре. С 1669 м количество вкрапленников и гнёзд уменьшается до 1%, местами наблюдаются скопления плагиоклаза размером 1–2 мм. С 1672 м вкрапленники пирротин-халькопиритового состава (пирротин преобладает) становятся крупнее и достигают 4 см при среднем показателе 1 см. Гнездообразная вкрапленность тоже возрастает. Общее содержание сульфидов составляет 10%. Плагиоклазовые включения тоже увеличиваются в размере и достигают 7 мм при среднем показателе 1–2 мм (см. рис. 3, образцы 1673,6, 1674,2). С 1675 м происходит постепенный переход к такситовым габбро-долеритам. Из-за увеличения количества вкрапленников плагиоклаза порода становится пятнистой, вкрапленники пиротин-халькопиритового состава почти исчезают, гнездообразной вкрапленности становится 5%.

Как видно из описания строения горизонтов пикритовых габбро-долеритов, в обеих скважинах (РТ-30 и РТ-107 бис) наблюдается общность в их строении. В обоих разрезах количество и размер сульфидных капель возрастает с глубиной. Основными различиями при этом являются разный состав вкрапленности и наличие гнездообразной вкрапленности на протяжении практически всего горизонта в скв. РТ-107 бис. Характерной особенностью крупных выделений сульфидов является их расслоенное строение, выражающееся в разделении на пирротиновую часть внизу и халькопиритовую вверху вкрапленника. Причём граница расслоения и уплощённость вкрапленников параллельна контакту слоя с другими дифференциатами и границам интрузива в целом. Некоторые мелкие интерстиционные выделения имеют мономинеральный состав. В большинстве случаев преобладающими минералами являются пирротин, халькопирит и пентландит. В скв. РТ-30 преобладает пирротин-халькопирит-пентландитовая вкрапленность, а в скв. РТ-107 бис – кубанит-халькопиритовая с талнахитом.

Помимо вкрапленных руд, в пикритовых габбро-долеритах Октябрьского месторождения были выявлены вкрапленные руды в такситовых габбро-

долеритах и массивная руда, расположенная в осадочных породах (в скв. РТ-30, мощностью 20 м) и между горизонтами такситовых и контактовых габбро-долеритов (в скв. РТ-107 бис, мощностью 4 м). Что касается химического состава рудных тел, то они различаются. Рудное тело С-3 (скв. РТ-30) характеризуется близким к 1 соотношением меди к никелю (Cu/Ni=1,2) и средней концентрацией PGE (12–20 ppm), а в залежи С-4 (РТ-107 бис) массивные руды являются существенно медными (Cu/Ni=5) и наблюдается высокое содержание платиновых металлов (до 80 ppm) (см. рис. 3). Различный химический состав сульфидных руд отражается на их минеральном составе. Рудное тело С-3 и связанная с ним вкрапленная руда содержат тетрагональный халькопирит и пирротин в равных пропорциях, в то время как рудное тело С-4 состоит в основном из минералов группы халькопирита – талнахита, путоранита и других минеральных ассоциаций меди с дефицитом серы в структуре.

Обсуждение. Норильские месторождения изучаются на протяжении ста лет. Несмотря на существование различных гипотез о происхождении руд, большинство геологов поддерживают их магматическую природу. Составы первичных магм и условия их кристаллизации, которые определяют как внутреннюю структуру интрузивных тел, так и связанных с ними руд, являются основными пунктами разногласий среди исследователей.

Результат осаждения сульфидов можно наблюдать в центральной части Октябрьского месторождения, где мощный горизонт пикритовых габбро-долеритов содержит вкрапленники сульфидов, неравномерно распределённые в поперечном сечении. В верхней части горизонта отсутствуют какие-либо сульфидные капли и содержится только интерстиционная вкрапленность. Ниже по разрезу появляются мелкие капли, которые постепенно с глубиной становятся крупными и переходят в мелкие рудные прослои в нижней части горизонта пикритовых габбро-долеритов. Эти данные свидетельствуют о влиянии гравитации при формировании вкрапленных руд в норильских интрузивах, что было подвергнуто сомнению в работах С.Барнса [10, 11], который предполагает, что ассоциация сульфидов с пузырьками повышает вероятность перемещения сульфидного материала в верхние части камеры и дальнейший их вынос магмой на поверхность. Несмотря на наличие небольших «пузырьков» (соответствующих поздним гидротермальным минералам, образовавшимся в пузырьках газа), ясно, что они слишком малы для флотации тяжёлых сульфидов. Кроме того, большинство сульфидов не имеет «пузырьков» (см. рис. 3).

С.Барнс предположил, что механизм паровой фазы работает как для подъёма сульфидных капель вверх, так и, в гораздо большем масштабе, для гидротермальной, экзоскарновой Cu-Pt-Pd-минерализации в зонах кровли Хараелахского интрузива. В связи с этим важно подчеркнуть, что каплевидные вкрапленники сульфидов расположены только в горизонте пикритовых габбро-долеритов и никогда наблюдаются в вышележащих и подстилающих породах, включая такситовые габбро-долериты. Таким образом, нет никаких признаков сульфидной флотации внутри всего интрузивного тела.

Заключение. В рамках данной работы было проведено сравнительное изучение пикритовых габбро-долеритов в двух скважинах – РТ-30 и РТ-107 бис. Скв. РТ-107 бис вскрывает рудную залежь С-4, а РТ-30 – С-3. Минеральный состав залежей существенно различается: в первом случае доминируют минералы группы халькопирита, а во втором – пирротина. То же характерно и для вкрапленных руд, которые содержатся в пикритовых габбро-долеритах. Присутствующие в обоих рудных телах минералы группы халькопирита отличаются между собой по составу. Так, в залежи С-4 доминирует талнахит, а в залежи С-3 присутствует только халькопирит.

Судя по строению горизонта пикритовых габбро-долеритов, вкрапленные руды подвергались гравитационному накоплению, а не перемещались с помощью пузырьков газа.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 18–05–70094).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Генкин А.Д., Гладышев Г.Д., Гроховская Т.Л.* и др. Сульфидные медно-никелевые руды норильских месторождений. – М.: Изд-во «Наука», 1981. – 235 с.
2. *Годлевский М.Н.* Траппы и рудоносные интрузии Норильского района. – М.: Госгеолтехиздат, 1959. – 68 с.
3. *Дистлер В.В., Гроховская Т.Л., Евстигнеева Т.Л.* и др. Петрология магматического сульфидного рудообразования. – М.: Изд-во «Наука», 1988. – 327 с.
4. *Дюжиков О.А., Дистлер В.В., Струнин Б.М.* и др. Геология и рудоносность Норильского рудного района. – М.: Изд-во «Наука», 1988. – 261 с.
5. *Криволуцкая Н.А.* Эволюция траппового магматизма и Pt-Cu-Ni рудообразование в Норильском районе. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. – 306 с.
6. *Лихачев А.П.* Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. – М.: Эслан, 2006. – 496 с.

7. *Налдретт А.Дж.* Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометальных руд. – СПб.: СпбГУ, 2003. – 487 с.
8. *Радько В.А.* Модель динамической дифференциации интрузивных траппов северо-запада Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 1991. – № 11. – С. 19–27.
9. *Туровцев Д.М.* Контактовый метаморфизм норильских интрузий. – М.: Научный мир, 2002. – 319 с.
10. *Barnes S.J., Le Vaillant M., Mungall J.E., Krivolutskaya N.A.* Droplets and bubbles – globular sulfide ores, vapour sulfide interactions and Noril'sk-Talnakh ore genesis // Mineral resources in a sustainable world: 13th SGA Biennial Meeting. – Nancy, France, 2015.– P. 881–884.
11. *Barnes S.J., Mungall J.E., Le Vaillant M.* et al. Sulfide-silicate textures in magmatic Ni-Cu-PGE sulfide ore deposits: Disseminated and net-textured ores // American Mineralogist. – 2017. – No. 102. – P. 473–506. https:// doi.org/10.2138/am-2017-5754
12. *Li C., Ripley E.M., Naldrett A.J.* A new genetic model for the giant Ni-Cu-PGE sulfide deposits associated with the Siberian flood basalts // Economic Geology. – 2009. – No. 104. – P. 291–301. http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.104.2.291
13. *Naldrett A.J.* A model for the Ni-Cu-PGE ores of the Noril'sk region and its application to other areas of flood basalts // Economic Geology. – 1992. – Vol. 87. – P. 1945–1962.

REFERENCES

1. *Genkin A.D., Gladyshev G.D., Grokhovskaya T.L.* et al. Sul'fidnyye medno-nikelevyye rudy noril'skikh mestorozhdeniy [Sulphide copper-nickel ores of the Norilsk deposits]. Moscow, Nauka publ. 1981. 235 p.
2. *Godlevskiy M.N.* Trappy i rudonosnyye intruzii Noril'skogo rayona [Traps and ore-bearing intrusions of the Norilsk region]. Moscow, Gosgeoltekhizdat publ. 1959. 68 p.
3. *Distler V.V., Grokhovskaya T.L., Yevstigneyeva T.L.* et al. Petrologiya magmaticheskogo sul'fidnogo rudoobrazovaniya [Petrology of magmatic sulfide ore formation]. Moscow, Nauka publ. 1988. 327 p.
4. *Dyuzhikov O.A., Distler V.V., Strunin B.M.* et al. Geologiya i rudonosnost' Noril'skogo rudnogo rayona [Geology and ore content of the Norilsk ore region]. Moscow, Nauka publ. 1988. 261 p.
5. *Krivolutskaya N.A.* Evolyutsiya trappovogo magmatizma i Pt-Cu-Ni rudoobrazovaniye v Noril'skom rayone [Evolution of trap magmatism and Pt-Cu-Ni ore formation in the Norilsk region]. Moscow, Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK publ. 2013. 306 p.
6. *Likhachev A.P.* Platino-medno-nikelevyye i platinovyye mestorozhdeniya [Platinum-copper-nickel and platinum deposits]. Moscow, Eslan publ. 2006. 496 p.
7. *Naldrett A.Dzh.* Magmaticheskiye sul'fidnyye mestorozhdeniya medno-nikelevykh i platinometal'nykh rud [Magmatic sulfide deposits of copper-nickel and platinum-metal ores]. St. Petersburg, SpbGU publ. 2003. 487 p.
8. *Rad'ko V.A.* Model' dinamicheskoy differentsiatsii intruzivnykh trappov severo-zapada Sibirskoy platformy [Model of dynamic differentiation of intrusive traps of the north-west of the Siberian platform]. Geologiya i geofizika. 1991. No. 11. P. 19–27.
9. *Turovtsev D.M.* Kontaktovyy metamorfizm noril'skikh intruziy [Contact metamorphism of the Norilsk intrusions]. Moscow, Nauchnyy mir publ. 2002. 319 p.
10. *Barnes S.J., Le Vaillant M., Mungall J.E., Krivolutskaya N.A.* Droplets and bubbles – globular sulfide ores, vapour sulfide interactions and Noril'sk-Talnakh ore genesis. Mineral resources in a sustainable world: 13th SGA Biennial Meeting. Nancy, France, 2015. P. 881–884.
11. *Barnes S.J., Mungall J.E., Le Vaillant M.* et al. Sulfide-silicate textures in magmatic Ni-Cu-PGE sulfide ore deposits: Disseminated and net-textured ores. American Mineralogist. 2017. No. 102. P. 473–506. https:// doi.org/10.2138/am-2017-5754
12. *Li C., Ripley E.M., Naldrett A.J.* A new genetic model for the giant Ni-Cu-PGE sulfide deposits associated with the Siberian flood basalts. Economic Geology. 2009. No. 104. P. 291–301. http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.104.2.291
13. *Naldrett A.J.* A model for the Ni-Cu-PGE ores of the Noril'sk region and its application to other areas of flood basalts. Economic Geology. 1992. Vol. 87. P. 1945–1962.