

УДК 553.087 (571.56)

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2023-63-3-98-112

НОВЫЕ ДАННЫЕ ОБ УСЛОВИЯХ ЛОКАЛИЗАЦИИ И СОСТАВЕ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ОКТЯБРЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НОРИЛЬСКОГО РАЙОНА

Иван Олегович Крылов¹✉, Иван Иванович Никулин²

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; ikrylov46@gmail.com✉

²ООО «Норильскгеология», Санкт-Петербург, Россия; nikulinII@nornik.ru

Аннотация. Изучены типы магматических сульфидных руд на западном фланге Октябрьского месторождения, установлены закономерности их распространения. Изучены особенности рудовмещающих пород в пределах западной ветви Хараелакского интрузива Талнахского рудного поля. Описана морфология рудных тел и дана минерографическая характеристика типов руд в западной части Хараелакского интрузива по данным бурения последних лет. Обобщены и подтверждены данные более ранних исследований о типах руд и их пространственном размещении на флангах Октябрьского месторождения. Выделены основные закономерности пространственного распределения, состава и морфологии залежей сульфидных медно-никелевых руд на западном фланге Октябрьского месторождения, которые могут использоваться в качестве поисковых критериев при дальнейших геологоразведочных работах.

Ключевые слова: сульфидные руды, вкрапленные руды, медистые руды, богатые руды, рудные тела, Октябрьское месторождение, Норильская металлогеническая провинция

Для цитирования: Крылов И.О., Никулин И.И. Новые данные об условиях локализации и составе сульфидных медно-никелевых руд западной части Октябрьского месторождения Норильского района // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2023. № 3. С. 98–112.

NEW DATA ON THE TYPES OF SULFIDE COPPER-NICKEL ORES OF THE KHARAELOKH TROUGH AND THE MAIN PATTERNS OF THEIR DISTRIBUTION

Ivan O. Krylov¹✉, Ivan I. Nikulin²

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; ikrylov46@gmail.com✉

²“Norilskgeologiya”, St. Petersburg, Russia; nikulinII@nornik.ru

Abstract. The types of magmatic sulfide ores on the Western flank of the Oktyabrsky deposit have been studied, and the patterns of their distribution have been established. The features of ore-bearing rocks within the western branch of the Kharayelakh intrusive Talnakh ore field have been studied. The morphology of ore bodies is described and mineralogical characteristics of ore types in the western part of the Kharayelakh intrusion are given according to drilling data of recent years. The data of earlier studies on the types of ores and their spatial placement on the flanks of the Oktyabrsky deposit are summarized and confirmed. The main patterns of spatial distribution, composition and morphology of copper-nickel sulfide ore deposits on the western flank of the Oktyabrsky deposit are identified, which can be used as search criteria for further geological exploration.

Keywords: sulfide ores, interspersed ores, copper ores, rich ores, ore bodies, Oktyabrskoye deposit, Norilsk metallogenic province

For citation: Krylov I.O., Nikulin I.I. New data on the types of sulfide copper-nickel ores of the Kharayelakh trough and the main patterns of their distribution. *Moscow University Geol. Bull.* 2023; 3: 98–112. (In Russ.).

Введение. Геологическое изучение месторождений Норильского рудного района ведется с тридцатых годов прошлого века (Котульский 1946, Роговер, 1959) и связано с поисками сульфидных медно-никелевых руд, пространственно и генетически связанных с базит-гипербазитовыми дифференцированными интрузивами. Открытие в начале 1960-х годов Октябрьского и Талнахского месторождений с уникальными запасами сульфидных руд вывели

Россию на лидирующие позиции в мире по запасам и добыче металлов платиновой группы, меди и никеля [Naldrett, 2005]. Уже почти полвека запасы Октябрьского месторождения, являются одной из двух составляющих, на которых держится промышленная мощь Норильского района.

Рассмотренное в работе Октябрьское месторождение, разрабатывается с 1966 г. Западный фланг Октябрьского месторождения отрабатывается

Новые данные об основных типах руд и их распространение. Геологическое строение и морфология руд Октябрьского месторождения подробно освещены в более ранних работах [Рожков, 1933; Котульский, 1943, 1948; Годлевский, 1959, 1968; Роговер, 1959; Коровяков, 1963; Золотухин, 1964; Суханова, 1965; Смирнов, 1966; Кулагов, 1968; Доддин, 1971; Иванов, 1971; Тарасов, 1976; Степанов, 1981; Дюжиков, 1988; Спиридонов, 2000; Туровцев, 2002; Naldrett, 2004; Лихачев, 2006; Спиридонов, 2009; Кривоуцкая, 2012; Радько, 2016; Геология..., 2020] и др.

Новые данные, приводимые ниже, охватывают преимущественно западный фланг Октябрьского месторождения Талнахского рудного узла (ТРУ).

Хараелахский интрузив, к которому приурочены руды западного фланга Октябрьского месторождения, располагается в пластичных породах нижнего девона, занимая в целом согласное положение по отношению к основным структурам рудного узла [Рябов, 1984; 2001]. В более ранних исследованиях [Годлевский, 1959; Золотухин, 1964; Шишаев 2010], он выделялся как Хараелахская ветвь Талнахского интрузива, в других работах [Naldrett, 2004; Лихачев, 2006; Радько, 2016; Геология..., 2020] выделяется собственно Хараелахский интрузив и две его ветви: Хараелахская и Северо-западная. В связи с изменчивостью морфологии рудных тел и геологического строения ветвей, в настоящей работе также принята за основу вторая классификация и выделены обе ветви Хараелахского интрузива.

Хараелахская интрузивная ветвь локализуется на западном фланге Октябрьского месторождения и представляет собой достаточно сложную по форме междоформационную залежь. Она контролирует участки, наиболее обогащенные платиноидами. Ее основные морфологические черты обусловлены преимущественно доинтрузивной пликативной тектоникой, разрывными нарушениями, сопровождающими внедрение и дальнейшее становление интрузии, а также метасоматическими процессами, пластическими деформациями и локальными закрытыми эксплозиями. Максимальные раздувы мощности (до 150 м) приурочены к ядрам брахисинклинальных складок и прогибов, а участки с минимальной мощностью — к апикальным частям положительных структур, где интрузивное тело, уменьшаясь в мощности, расщепляется на несколько послойно расположенных своеобразных габбро-долеритовых массивов.

Северо-Западная ветвь развита в центральной части ТРУ и включает в себя восточный фланг Октябрьского месторождения. Так же, как и Хараелахской ветви, ее морфология обусловлена залеганием интрузива в слоистых породах девона, но положение непосредственно на западном крыле разлома определило сложное залегание, связанное с локальными структурно-тектоническими факторами. На северном фланге Октябрьского месторождения, также, как и на южном, рудные тела медно-никелевых руд группируются на нижнем девонском стратиграфиче-

ском уровне по отношению к смежному Талнахскому месторождению, где медно-никелевое оруденение локализуется в породах тунгусской серии.

Типовые разрезы, демонстрирующие взаимное расположение залежей сульфидных руд разных промышленных типов и пространственная локализация рудных залежей в плане, с учетом отработанных участков по состоянию на 01.01.2021 представлены на рис. 2.

Богатые массивные сульфидные руды локализуются в породах, подстилающих интрузив, и частично в пределах его нижней эндоконтактовой зоны. Массивные руды распространены практически по всей площади рудного горизонта, но в его отдельных частях встречаются лишь маломощные прожилки или прожилково-вкрапленная минерализация, в других — руды обособляются в крупные тела жило-, линзо- и пластообразной формы. Залежи богатых массивных руд до последнего времени являлись основными объектами разработки на месторождении и по своим размерам подразделяются на три группы: очень крупные (площадь свыше 2 км^2), крупные (более $0,5 \text{ км}^2$) и средние (до $0,5 \text{ км}^2$). Кроме них выделяются отдельные мелкие линзы и жилы. На площади Октябрьского месторождения выделяются группы Хараелахских, Южных, Центральных и Северных залежей богатых руд. Наиболее крупной из них является залежь Хараелахская-1 (рудники «Октябрьский» и «Таймырский»), полого погружающаяся на восток.

Богатые (сплошные) руды на западном фланге пространственно связаны с участком локализации Хараелахской интрузивной ветви. Они формируют линзовидные тела сложной формы, разобщенные в пространстве, мощностью до 30 м, внутреннее строение которых определяется пространственной изменчивостью распределения рудообразующих минералов, структур и текстур.

В полях рудников выделяется ряд залежей богатых руд, объединенных в группы «Южных», «Центральных» и «Северных». В каждой из групп одна наиболее крупная залежь выделяется в качестве «Основной» (рис. 2):

крупнейшие (площадь свыше 1 км^2);

крупные (более $0,5 \text{ км}^2$);

средние (до $0,5 \text{ км}^2$);

отдельные мелкие тела, линзы и жилы.

Крупнейшие залежи представляют собой пластообразные тела с небольшой изменчивостью мощностей на большей части площади (табл. 1).

Как показано на рис. 2, в структурно-тектоническом плане богатые сульфидные руды образуют один единый горизонт, приуроченный к подошве рудоносного интрузива (рис. 2, 3). Центральные части залежей характеризуются в целом линзообразным, массивным строением. Фланговые части всех залежей представляют собой зону расщепления с многочисленными участками разветвлений и апофиз, нередко залежи богатых руд имеют «этажное» строение

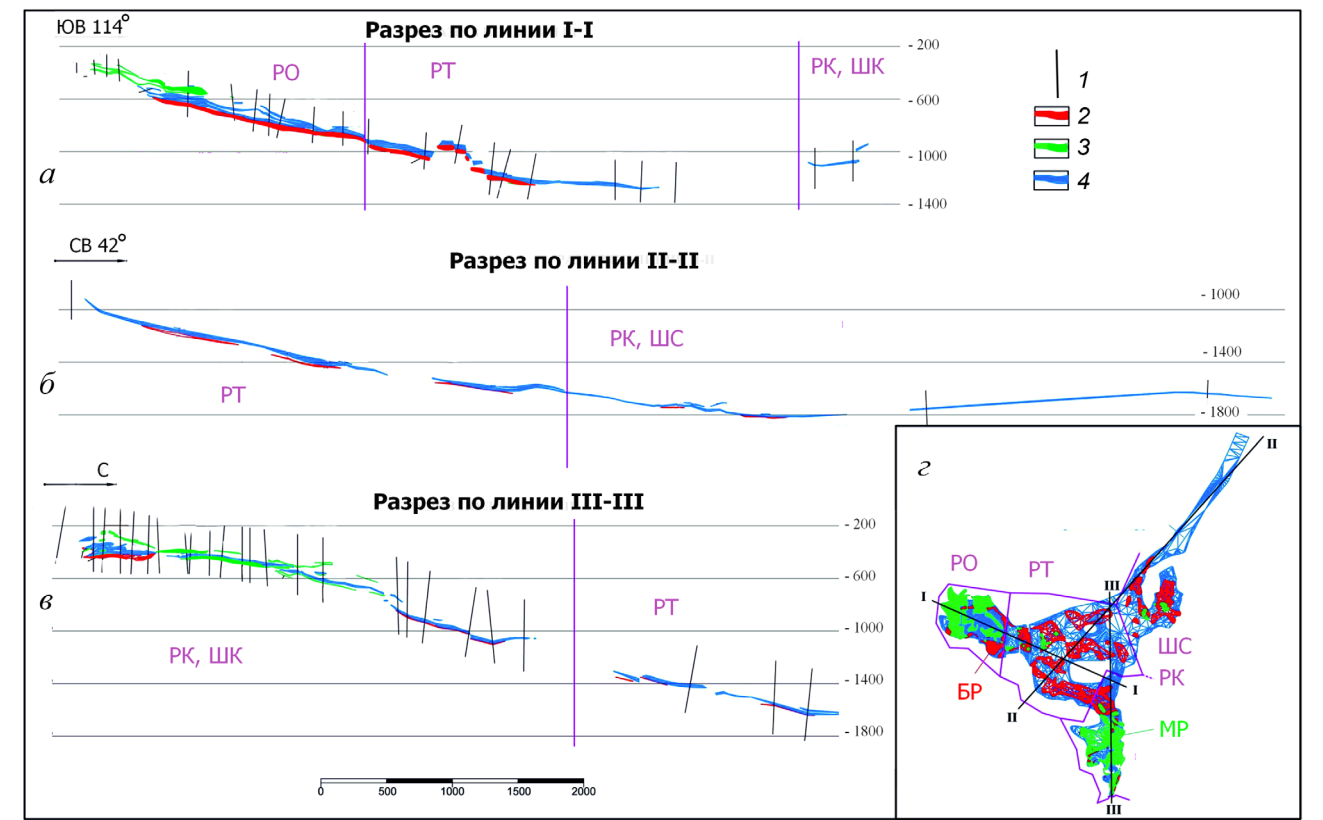


Рис. 2. Каркасные модели рудных тел на Октябрьском месторождении: а, б, в — разрезы каркасных моделей рудных тел; з — проекция каркасных моделей рудных тел на горизонтальную плоскость: 1 — проекции стволов разведочных скважин на плоскость разреза; 2 — богатые руды; 3 — «медистые» руды; 4 — вкрапленные руды; РО — поле рудника «Октябрьский»; РТ — поле рудника «Таймырский»; РК — поле рудника «Комсомольский» («Глубокий»); ШК — шахта «Комсомольская»; ШС — шахта «Скалистая»; БР — богатые руды на горизонтальной проекции; МР — медистые руды на горизонтальной проекции; ВР — вкрапленные руды на горизонтальной проекции; М1Н, МП-ОВ, МП-ОН — названия залежей медистых руд, В-О — названия залежей вкрапленных руд, Х1О — названия залежей

вследствие расщепления на линзы, отстоящие друг от друга от 1 до 30 м по вертикали и расположенные кулисообразно. Кроме того, первичное залегание рудных тел осложнено пострудной тектоникой. Границы залежей обычно четкие, резкие, реже наблюдаются постепенные переходы.

Богатые руды Октябрьского месторождения имеют показатели изменчивости оруденения, принадлежащие к 1, 2 и 3 группам сложности, но, учитывая тот факт, что более выдержанные, центральные участки рудных тел на сегодняшний день отработаны, средние мощности рудных тел составляют

Таблица 1

Параметры залежей богатых руд Октябрьского месторождения

Место-рождение	Интрузивная ветвь	Залежь	Рудник	Размер залежи, км ²	Мощность залежи		
					от	до	среднее
Октябрьское	Хараелахская	Хараелахская Первая (Х-1)	«Октябрьский»	2,9	0,5	45,8	21,0
		Вторая Северная (С-2)	«Таймырский»	1,6	1,0	18,4	7,7
		Третья Северная (С-3)		0,4	0,6	24,7	7,2
		Четвертая Северная (С-4)		0,4	0,9	5,8	3,0
	Северо-Западная	Первая Северная (С-1)	«Комсомольский»	0,1	0,3	15,2	6,2
		Центральная Основная (Ц-О)		0,1	1,0	10,7	7,0
		Южная Основная (Ю-О)		0,1	1,0	30,0	20,0

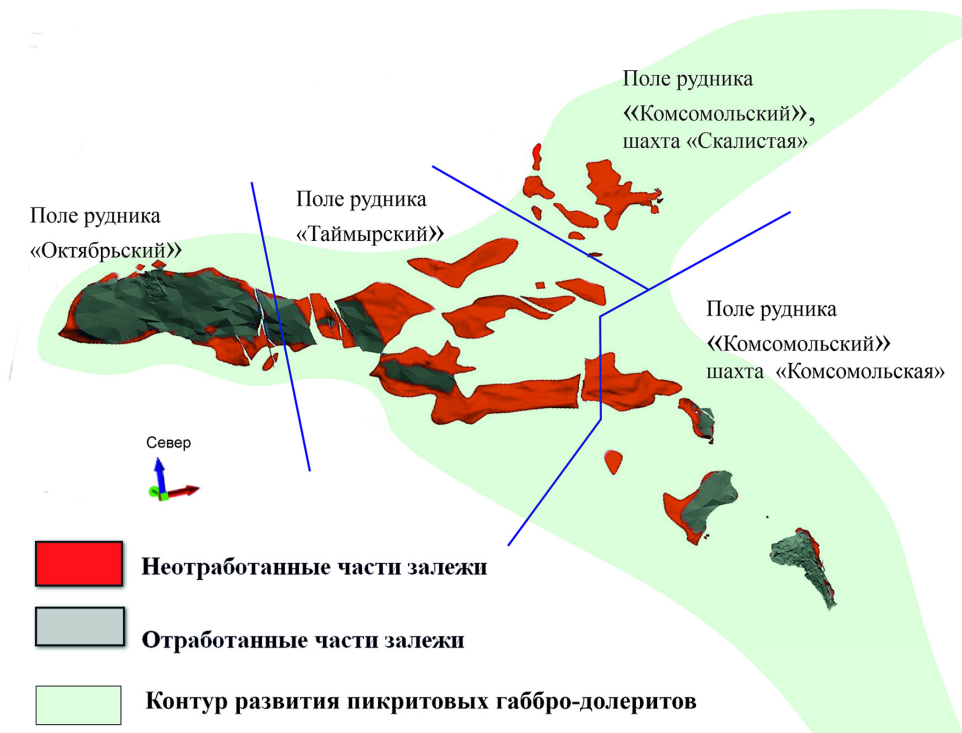


Рис. 3. Расположение залежей богатых руд Октябрьского месторождения (каркасные 3D модели рудных тел)

3–8 м (маломощные) и около 40% рудных интервалов имеют мощности <3 м. Поэтому руды данного типа следует отнести ко 2 группе сложности геологического строения (табл. 2).

По соотношению рудообразующих сульфидов промышленный сорт (тип) богатых сплошных руд условно делятся на ряд подтипов [Додин, 1971]:

- пентландит-халькопирит-пирротинового состава (подтип слагает полностью залежи сплошных руд в северной части Талнахского месторождения и целиком или большую часть объема сложно построенных залежей на Октябрьском месторождении);
- пентландит-пирротин-халькопирит-кубанитового состава (подтип формирует обособленные линзовидные тела в объеме залежей сложного строения);

- пентландит-пирротин-кубанит-халькопиритового состава (подтип обособляется в виде линзовидных тел в контурах залежей сложного строения);
- пентландит-кубанит- (моихукит, поторанит) талнахитового состава (подтип обычно образует линзовидные тела во внутренней части сложно построенных залежей).

Основными минералами сплошных пентландит-халькопиритовых руд являются халькопирит и пентландит, присутствуют также в незначительных количествах кубанит, валлериит, магнетит, сфалерит и макинавит. В массе сульфидов иногда отмечаются мелкие зерна платиновых минералов. Текстура руд массивная, реже — петельчатая, которая обусловлена развитием прожилков позднего магнетита, образующего узор выделениям сульфидных минералов.

Таблица 2

Значения показателей группы сложности богатых руд Октябрьского месторождения

Группы сложности и варианты оконтуривания*	Показатели изменчивости объектов						
	Формы			Содержания			
	коэффициент рудоносности K_p	показатель сложности q	коэффициент вариации мощности V_m , %	коэффициент вариации содержания V_c , %			
				Ni	Cu	Pt	Pd
Первая	0,9–1,0	0,8–0,9	<40	<40			
Вторая	0,7–0,9	0,6–0,8	40–100	40–100			
2,3-1-3*	0,94	0,94	103	28	93	116	107
Третья	0,4–0,7	0,4–0,6	100–150	100–150			
Четвертая	<0,4	<0,4	>150	>150			

Примечание.* — бортовое содержание условного никеля — минимальная мощность рудного тела — максимальная мощность прослоев пустых пород.

ралов. Структура изменяется от мелкозернистой, до крупнозернистой.

Главными минералами пентландит-пирротин-халькопирит-кубанитовых руд являются пентландит, кубанит и халькопирит. Второстепенные рудные минералы представлены валлериитом, макинавитом, галенитом, сфалеритом и магнетитом. Преобладает массивная текстура, реже встречается брекчиевидная. Наиболее характерной структурой является порфировидная.

Пентландит-пирротин-кубанит-халькопиритовые руды отличаются от пентландит-пирротин-халькопирит-кубанитовых руд количеством содержащихся в них халькопирита и кубанита, отсутствием пирротина и макинавита, а также локальным развитием кубического кубанита [Генкин, 1966] и более частой встречаемостью валлериита и сфалерита. Текстурно-структурные особенности этих двух типов практически не отличаются.

Минералогическое отличие пентландит — кубанит — (моихукит, поторанит) талнахитовых руд от других подтипов заключается в том, что они содержат кубическую разновидность халькопирита — талнахит [Генкин, 1966; Будько, 1968], также в их составе встречаются моихукит и поторанит. Текстура преимущественно массивная, структура гипидиоморфнозернистая и аллотриоморфнозернистая.

Богатые руды изученных в работе залежей Хара-елаской и С-2 характеризуются сходным минеральным составом, структурой и текстурой руд. Богатая руда залежи С-2 является сплошной халькопирит-пирротиновой рудой с включениями вмещающих пород, в том числе и пород с постмагматическими изменениями. Размер породных включений изменяется от 5 мм до 10–15 см, они представлены

такситовым габбро-долеритом пойкилоофитовой структуры, мелкозернистым плагиоклазитом с прожилками поздних нерудных минералов, биотита, цоизита, хлорита, амфиболов. Соотношение силикатных минералов на 100% силикатов в пробе ТП С-2 (%): плагиоклаз — 40–50, биотит — 20–30, клинопироксен — 5–7, оливин — 5–7, хлорит — 15–20, цоизит 5–7, кварц — 5–7, амфиболы — 3–5. Состав руды существенно пирротиновый при подчиненном количестве халькопирита и пентландита. Текстура руд массивная, каемочная, петельчатая, полосчатая, прожилковая в зависимости от взаимного расположения пирротина, халькопирита и породных включений, мощности халькопиритовых кайм в массе пирротина достигают 10–15 см (рис. 4; 5).

Главными минералами руд являются моноклинный и гексагональный пирротин (по данным минераграфических исследований и РСМА), халькопирит, пентландит и магнетит. Пирротин образует уникальные крупные кристаллы размером более 3–4 см (пирротин I), а также агрегат более мелких кристаллов размером от 0,5 до 1–2 мм (пирротин II). Крупный пирротин имеет двойниковое строение, включает пламенивидный пентландит и халькопирит.

Халькопирит располагается на границах раздела отдельных зерен пирротина, наиболее крупные его поля содержат включения округлых зерен пирротина в сростаниях с пентландитом.

Пентландит приурочен к границам зерен пирротина, где он присутствует один или вместе с халькопиритом. В большинстве случаев халькопирит и пентландит образуют мономинеральные выделения размером до 0,5–0,6 мм, пламенивидные пластинчатые фазы в пирротине. Магнетит образует вкрапленность в пирротине размером от 0,1 до 1 мм или образуют почти мономинеральные линзы в по-

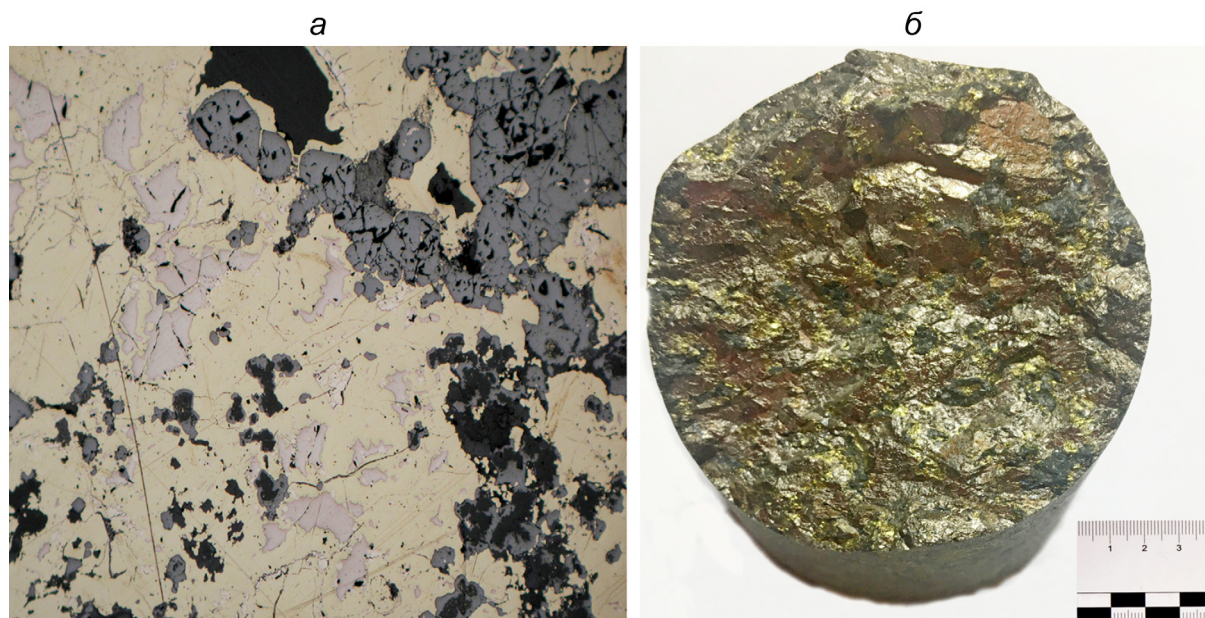


Рис. 4. Массивная халькопиритовая руда: а — сростания халькопирита, с пирротин и магнетитом (в отраженном свете); б — общий вид



Рис. 5. Кайма халькопирита на границе кристалла пирротина и включения габбро-долерита (а); петельчатый и пластинчатый халькопирит в пирротине, скв. Т9709 (б)

родных включениях. В руде встречаются единичные зерна сфалерита, галенита, ильваита.

Характерная особенность богатой руды Харалахской залежи — крупные блочные кристаллы пирротина размером до 10 см и каемочные образования халькопирита мощностью 1–3 — 20 мм вокруг пирротина, аналогичные богатой руде залежи С-2. Вторая структурная форма халькопирита — ориентированные по трещинам отдельности в пирротине субпараллельные вкрапленники размером 3–10 мм (рис. 5; 6).

Пирротин представлен крупными кристаллами (пирротин I) и более мелкозернистыми зернами пирротина (пирротин II), которые обрамляются каймой

пентландита. Пентландит в кристаллах пирротина образует пламенивидные фазы по направлениям отдельности, где с ним часто ассоциирует и халькопирит, а также идиоморфные кристаллы магнетита.

Количественное соотношение сульфидов в богатой руде пробы ТПХ 1(0) на 100% сульфида (масс.%): пирротин 61, халькопирит — 24, пентландит — 15. Доля магнетита составляет 6 масс.%, породных включений — 2 масс.%. В пробе ТПС-2 (масс.%): пирротин 76, халькопирит — 14, пентландит — 10, количество магнетита — 6, доля силикатных минералов — 6%. В залежах богатых руд С4 и Х1 наблюдаются пирротиновые зоны, в которых выделяются участки, обогащенные кубанитом. Залежь С4 в настоящее

Поле рудника
«Октябрьский»

Поле рудника
«Таймырский»

Поле рудника
«Комсомольский»,
шахта Комсомольская

С

- Неотработанные части залежи
- Отработанные части залежи
- Контур развития пикритовых габбро-долеритов

Рис. 6. Расположение залежей «медистых» руд Октябрьского месторождения (каркасные 3D модели рудных тел)

время не вскрыта выработками, Хараелахская залежь в поле рудника «Октябрьский» в значительной степени отработана. Содержание никеля (2,5–3,5%) и меди (12,3–14,0%) в кубанитовых рудах выше, чем в пирротиновых.

Основными минералами кубанитовых руд являются пирротин (в том числе троилит) и кубанит, количество халькопирита не превышает 10–12%. Кубанитовые руды имеют постепенные переходы к существенно пирротиновой и к халькопиритовой разновидностям. Кубанитовые руды Хараелахской залежи обрабатывались совместно с пирротиновой рудой и направлялись на обогащение.

В зональных частях залежей выделяются также халькопиритовые зоны, которые выделены в самостоятельный технологический тип II «высокомедистых» руд. Эти руды характерны для Хараелахской залежи в поле «Октябрьского» рудника. Содержание меди в рудах составляет 14–16%, носителем меди является халькопирит (с содержанием меди 34,5%). В процессе эксплуатации они направлялись непосредственно в плавильный цех медного завода.

«Медистые» руды Октябрьского месторождения локализуются во вмещающих интрузив апоосадочных метаморфизованных породах. По текстурным особенностям они подразделяются на вкрапленные, прожилково-вкрапленные и брекчиевидные, обычно обогащенные медью. Морфология рудных тел, сложенных этим типом руд характеризуется большой сложностью и зависит, в основном, от литолого-структурных условий участка локализации. В подошве интрузива «медистые» руды образуют ореолы вокруг массивных богатых руд во вмещающих породах в виде тонкой вкрапленности, мелких прожилков, шлиров и линз и пропитывают включения роговиков в массивных рудах. Отмечается тенденция преимущественного развития этого типа оруденения в залежах, приуроченных к фланговым частям интрузивного массива. Обычно эти рудные тела не имеют четких естественных границ и характеризуются постепенными переходами в неоруденелые породы. Форма рудных тел неправильная, с крупными раздувами, пережимами и участками переменной мощности. В ряде случаев тела имеют пластообразную форму, вытянутую в виде относительно узкой полосы, вдоль простираения нескольких залежей сплошных сульфидных руд. В кровле интрузивного массива «медистые» руды (залежи МК-1,2 на рис. 2) весьма близки к оруденению в экзоконтактах тел сплошных сульфидов, но имеют весьма ограниченное распространение. Основная особенность их локализации заключается в том, что оруденение этого типа приурочено непосредственно к полосе развития трещинных структур Норильско-Хараелахского разлома.

В западной и фронтальной зоне Хараелахского интрузива, в метаморфических и метасоматических породах его экзоконтакта, развиты сульфидные «медистые» руды брекчиевидного облика, в кото-

рых сульфидные минералы играют роль цемента, выполняющего пространство между обломками измененных осадочных пород. Данный тип оруденения локализуется между апофизами интрузивного тела в его фланговой зоне.

Из наиболее крупных и устойчивых по содержанию и мощности горизонтов «медистых» руд Октябрьского месторождения выделяются (рис. 2): в западной части — «Основной горизонт» брекчиевидных руд М-О, расположенный на 30–50 м выше кровли первой Хараелахской залежи, и горизонт М-1Н; в восточной части — два сближенных горизонта в кровле интрузива (МК-1 и МК-2) и один в подошве (МП-ОН).

Распространение и контуры «медистых» руд полностью определяются геометрией и структурой залежей сплошных руд. Однако из-за качественнотехнологических свойств и сложности строения этот тип руд традиционно рассматривается как самостоятельный, отдельно от богатых. «Медистые» руды образуют сложный по форме горизонт, выше залежей богатых руд, который характеризуется изменчивостью мощностей (рис. 6; 7). Горизонт представлен серией вытянутых по протяженности тел, залегающих в кровле богатых руд и имеющих сравнительно небольшие размеры. Внутреннее строение всех горизонтов «медистых» руд сложное. Нередко интенсивно оруденелые прослои чередуются со слабо минерализованными или безрудными.

По уровню локализации «медистые» руды подразделяются на верхние (развитые только в верхнем экзоконтакте Талнахского рудоносного интрузива, в полях рудников шахты «Комсомольская» и «Октябрьский») и нижние разности, выделяемые на всей площади месторождения, на флангах залежей богатых руд в зоне их расщепления и выклинивания. Залежи верхних «медистых» руд представлены брекчиевидными, густовкрапленными, прожилково-вкрапленными и бедными (тонко-вкрапленными в роговиках) разновидностями с высоким условным никелем. Нижние «медистые» руды характеризуются относительно низкими содержаниями условного никеля и, по сути, являются продолжением залежей богатых руд, но с более низким качеством. Горизонт «медистых» руд залегает в ангидрит-пироксеновых роговиках мантуровской свиты среднего девона, которые содержат многочисленные линзы измененного габбро-долерита с вкрапленной рудой. Роговики сложены преимущественно мелкозернистым агрегатом пироксенов с включениями ксеноморфного ангидрита размером 0,2–1 до 10–15 см. Амфибол представлен роговой обманкой, которая в ассоциации с хлоритом образует каемочные обрамления вокруг рудных вкрапленников. В роговиках присутствуют прожилки и гнезда кальцита и доломита. Структура роговика гранобластовая, равномернозернистая, мелкозернистая. «Медистая» руда имеет брекчиевидную, ритмично-полосчатую или равномерную массивную текстуру, образован-

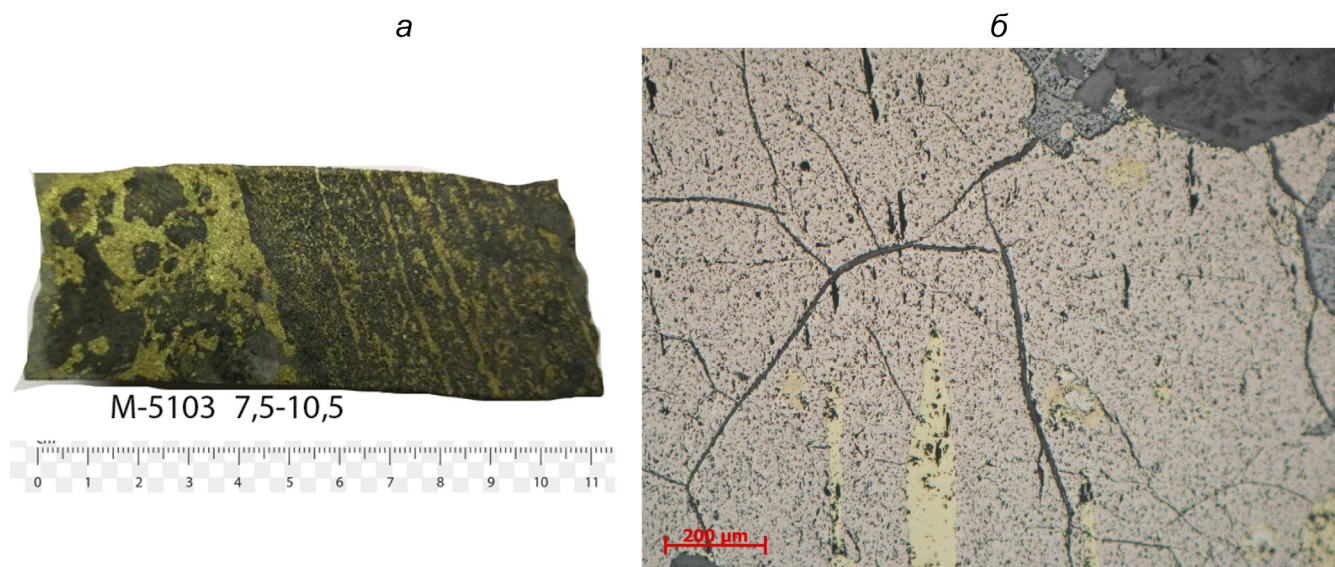


Рис. 7. Брекчиевидная и ритмично-полосчатая вкрапленность сульфидов в роговике скв. М5103 (а); срастания зерен халькопирита с агрегатами пирротина (б)

ную сплошным халькопиритом и густовкрапленным сульфидным агрегатом с включениями роговика различного размера (рис. 5, а). В контуре горизонта МО пачки «медистых» руд (16,2 и 13,0 м в скважине М 5103) имеют существенно халькопиритовый или пирротиновый состав с примерно одинаковым количеством пентландита. Общее количество сульфидов в халькопиритовых и пирротиновых интервалах идентичное, изменяется от 23 до 44%. Разделение руд на существенно халькопиритовые и существенно пирротиновые производится при макроскопической документации и по расчетному геохимическому коэффициенту Cu/S . В пирротин — халькопиритовых рудах Cu/S — более 0,45%, в существенно пирротиновых 0,15–0,3%. Количество пентландита в рудах постоянное и составляет около 9–11%. В пирротиновых интервалах появляется валлериит — до 8 масс.%, присутствует сфалерит и магнетит. Доля нерудных минералов 43–74%.

Халькопирит образует мономинеральные зерна и агрегаты зернистой структуры, сростки с пирротин, пентландитом, реже с магнетитом, макинитом и сфалеритом. В крупных полях халькопирита, составляющих сплошную сульфидную массу, наблюдаются порфировидные зерна пентландита и призматические включения пирротина (рис. 5, б). Широко распространен в халькопирите и мелкозернистый пентландит размером около 0,01–0,2 мм. Микрорентгеноспектральным анализом в халькопирите обнаружено самородное золото, зерно солевскита, котульскита, мончеита.

Пентландит образует порфировидные зерна в крупных полях халькопирита и пирротина, мелкие изометричные вкрапленники в халькопирите, пламенивидные включения в пирротине.

Пирротин в халькопиритовых интервалах имеет ограниченное распространение, находится в срастаниях с халькопиритом, образует бедную вкраплен-

ность в породных ксенолитах. Наиболее крупные фазы пирротина содержат включения пламенивидного пентландита. В существенно пирротиновых интервалах пирротин представлен двумя структурными разновидностями: крупными кристаллами размером до нескольких сантиметров (пирротин I) и мелкозернистыми округлыми зернами в полях халькопирита (пирротин II) размером 0,1–0,8 мм. В пирротиновых интервалах доля пламенивидного пентландита возрастает, что приводит к повышению извлечения никеля в пирротиновый концентрат и малоникелистый отвальный продукт.

Пирит в «медистых» рудах образует тонкие прожилки небольшого размера и крупнозернистые агрегаты, количество пирита составляет 1–9%.

В халькопирит-пирротиновой массе наблюдаются шпильки магнетита, в которых встречается мелкозернистый чешуйчатый валлериит. Расчетное количество валлериита в медистых рудах по изученным пробам — изменяется от 0 до 8%, расчетное количество магнетита — 5%.

«Медистые» руды на северо-западном фланге рудника «Октябрьский» вскрыты многочисленными скважинами. Брекчиевидные и сплошные пирротин-халькопиритовые медистые руды образуют 2–3 тела мощностью от 4 до 48 м. Рудные тела медистых руд в районе скважин КЗ-829, КЗ-952 залегают на глубинах 1008–1096 м, на западном фланге поднимаются на глубины 400–500 м и прослеживаются до глубины 10–20 м под рыхлые отложения. По минеральному составу среди «медистых» руд на западном фланге преобладают разновидности пентландит-халькопирит-(пирит)-пирротинового состава и валлериитовые руды, среди которых различают пентландит-(миллерит)-пирротинового, пирит-валлериит-халькопиритового и пентландит (миллерит)-халькопирит-валлериит-(пирротин)-пиритового состава.

Таблица 3

Значения показателей группы сложности «медистых» руд Октябрьского месторождения

Группы сложности и варианты оконтуривания*	Показатели изменчивости объектов						
	Формы			Содержания			
	коэффициент рудоносности K_p	показатель сложности q	коэффициент вариации мощности V_m , %	коэффициент вариации содержания V_c , %			
				Ni	Cu	Pt	Pd
Первая	0,9–1,0	0,8–0,9	<40	<40			
Вторая	0,7–0,9	0,6–0,8	40–100	40–100			
Третья	0,4–0,7	0,4–0,6	100–150	100–150			
0,8-1-3	0,63	0,77	116	55	57	100	73
1,3-1-3	0,59	0,75	121	51	49	87	63
1,8-1-3	0,58	0,74	136	63	53	81	64
0,8-2-7	0,68	0,82	119	57	70	95	73
1,3-2,7	0,66	0,79	124	54	65	93	72
Четвертая	<0,4	<0,4	>150	>150			

Примечание. * — бортовое содержание условного никеля — минимальная мощность рудного тела — максимальная мощность прослоев пустых пород.

В пробах «медистой» руды состав пентландита характеризуется повышенным содержанием никеля, пониженным содержанием железа и составляет (масс.%): никель — 36,9, железо — 28,8, серы — 33,4, кобальта — 0,9. Средний состав пирротина (масс.%): железо — 60,1, сера — 39,1, никель — 0,8. В рудах присутствуют гексагональный и моноклинный пирротин. Состав халькопирита (масс.%): медь — 34,6, железо — 30,04, сера — 34,9. Миллерит содержит в среднем 61,5 масс.% никеля, 35,6 масс.% серы, имеет примесь железа — 2,4 масс.% и кобальта — 0,5 масс.%. В состав пирита также входит примесь кобальта и никеля. Средний состав пирита (масс.%): железо — 46,0, сера — 52,8, никель — 0,8, кобальт — 0,4.

По своим показателям изменчивости этот тип руд находится между 2 и 3 группами сложности (табл. 3). Однако, принимая во внимание сложность строения их контактов, наличие «зональности» в вещественном составе и текстуре рудных тел (верхние и нижние горизонты «медистых» руд), руды этого промышленного типа отнесены к 3 группе сложности геологического строения.

В поле шахты «Комсомольская», «медистые» прожилково-вкрапленные руды подвержены наиболее сильному метасоматозу с образованием ангидрит-пироксеновых роговиков, скарнов различного состава (магнезиального, известкового и щелочного) и серпентинитов. Вторичные изменения отражаются и на составе рудной вкрапленности. Так, в роговиках и скарнах появляется миллерит-халькопирит-пиритовая ассоциация сульфидов, которая накладывается на более раннюю пентландит-халькопирит-пирротиную вкрапленность и может полностью ее замещать. Во вкрапленности также присутствует борнит, валлериит, джерфшерит.

Оруденелые роговики имеют равномернозернистую массивную и полосчатую текстуру, присутствуют интервалы с пятнистой текстурой, где проявлены пластические и разрывные микродеформации, брекчирование [Додин, 1971; Геология....2020; Спиридонов, 2010]. В роговиках наблюдаются метасоматические изменения с образованием скарнов, широко проявлена серпентинизация, образование гидрограната, хлорита, крупногнездового ангидрита, кальцита. Макроскопически рудные скарны представляют собой сланцеватую породу серого цвета с пятнистой и прожилковой текстурой, обусловленной развитием гнезд и прожилков хлорита, серпентина и крупных гнезд ангидрита.

Для «медистой» руды характерно неравномерное распределение сульфидов во вмещающих породах и разнообразные структурные формы: гнезда, ориентированные по сланцеватости, прожилки, примазки по трещинам, вкрапленники, слои густой тонкой вкрапленности, в основном халькопиритовой, «пропитывающей» породу.

Общее количество сульфидов в технологических пробах шахты «Комсомольская» изменяется от 8 до 35%, от общего количества сульфидов доля пирротина составляет 16–28%, халькопирита 13–48%, пентландита ~1,2–6%, миллерита ~0,1–4%, валлериита ~7–19%, пирита ~14–38%.

В «медистой» руде горизонта МПОН (рис. 2) присутствует несколько характерных минеральных ассоциаций: пирротин-пентландит-халькопиритовая, существенно халькопиритовая, миллерит-борнит-халькопирит-пиритовая и валлериит-пирротин-халькопиритовая.

В наименее измененных породах пироксеновых роговиках или скарнах присутствует пирротин-

халькопиритовая вкрапленность с пентландитом. Основными рудными минералами вкрапленности являются пирротин и халькопирит, в сростаниях с которыми находится пентландит, пирит и магнетит. Наблюдаются вкрапленники существенно пирротинового или существенно халькопиритового состава с размером сульфидных фаз от 0,05 до 0,4–0,5 мм пирротина (рис. 5). В пирротине присутствуют пламеновидные включения пентландита.

Развитие валлериита наиболее характерно для серпентинитов, в которых он наблюдается в максимально известном количестве. В измененных роговиках и скарнах распространена валлериит — халькопиритовая вкрапленность, где валлериит является вторым по распространенности минералом. В сростаниях с халькопиритом встречается пирит и редко — пирротин. В этой ассоциации иногда встречается джерфишерит, который образует каймы вокруг халькопирита и пирротина.

В виде самостоятельной рудной ассоциации в роговиках и скарнах присутствует пирит-пирротин-валлериитовая вкрапленность с низкими технологическими свойствами. В этой ассоциации пирит является никелистым и содержит 0,1–0,5 масс.% никеля.

Вкрапленные руды Октябрьского месторождения залегают в подошве Талнахского интрузива и в нижних приподошвенных горизонтах Хараелахского интрузива. В поле рудника «Комсомольский» и «Октябрьский» они образуют обширную пластообразную залежь с многочисленными линзами и апофизами. В поле «Таймырского» рудника они образуют единый горизонт со сложным внутренним строением.

Вкрапленные и прожилково-вкрапленные руды являются наиболее распространенным промышленным типом медно-никелевых руд. Они приурочены главным образом к горизонтам пикритовых и такситовых габбро-долеритов. В большей части интрузивного массива этот тип оруденения является морфологически наиболее простым, поскольку прослеживается почти повсеместно в соответствии с общей выдержанностью обоих горизонтов. Наиболее сложное строение горизонты вкрапленных руд имеют на флангах интрузива, где он расщепляется на серии апофиз. Распределение сульфидов в пределах горизонтов относительно постоянное.

Анализ скважин детальной разведки месторождения показывает, что в ряде скважин разделение рудной толщи на отдельные горизонты происходит по маломощным прослоям пустой породы. В соответствии с действующими кондициями, пустые породы и некондиционные руды мощностью менее 5 м разрешено включать в подсчетный контур. В целом, залежи вкрапленных руд в интрузии являются участками единой толщи вкрапленного оруденения дифференцированного интрузива.

Наиболее выдержанным является «Основной» горизонт вкрапленных руд (В-О на рис. 2), мор-

фология которого целиком определяется формой и внутренним строением рудовмещающих горизонтов самого интрузива и отдельных его ветвей. Максимальные мощности и концентрации полезных компонентов этот горизонт руд имеет в центральных частях ветвей интрузива.

Морфология сульфидных выделений вкрапленных руд характеризуется большим многообразием. Она зависит от генезиса и приуроченности к тому или иному горизонту интрузива. В пикритовых габбро-долеритах сульфиды присутствуют в виде мелких интерстиционных выделений в межзерновом пространстве породообразующих силикатов и изометричных или каплевидных выделений. Для пегматоидных разновидностей магматических пород — такситовых габбро-долеритов — характерно прожилково-вкрапленное оруденение, крупные шлировидные скопления сульфидов и мелкие (2–5 мм) сульфидные агрегаты, ксеноморфные по отношению к силикатам.

По своему составу руды являются полиминеральными и состоят из весьма обширного комплекса минералов, относящихся к классам сульфидов, селенидов, теллуридов, арсенидов, сульфоарсенидов, интерметаллидов, самородных элементов, окислов и др. Главными минералами являются пирротин (моноклинный и гексагональный), халькопирит и пентландит, реже троилит, кубанит и валлериит. Повсеместно в рудах среди сульфидов встречается титаномagnetит. В зависимости от преобладания того или иного минерала, выделяются пирротиновые, кубанитовые и халькопиритовые руды. Закономерно группируясь внутри минеральных типов, главные рудообразующие минералы образуют устойчивые минеральные ассоциации — минеральные разновидности. Каждая минеральная разновидность образует в рудной залежи довольно крупные и выдержанные обособления в виде капель (рис. 8, в, г).

Горизонты вкрапленных руд в интрузиве состоят из многочисленных линзовидных и крупных пластообразных залежей, вытягивающиеся субпараллельно подошве или кровле интрузива. Во фронтальных частях интрузивных ветвей морфология и качественные показатели вкрапленного оруденения несколько усложняются в связи с расщеплением интрузива и развитием метасоматических процессов. Появляются в разрезе несколько рудных тел вкрапленного оруденения, выделяемых в качестве самостоятельных горизонтов. Вкрапленные руды по сравнению с медистыми являются более бедными по содержанию меди и никеля, содержат меньше сульфидов и, соответственно, серы, а также имеют значительно более высокие содержания двуокиси кремния и окиси магния. Во вкрапленных рудах имеет место высокая доля неизвлекаемого силикатного никеля, которая в пробах изменяется от 9 до 22% и в среднем составляет 16%. В строении вкрапленных руд горизонта ВО (на рис. 2) выделяются несколько петро-

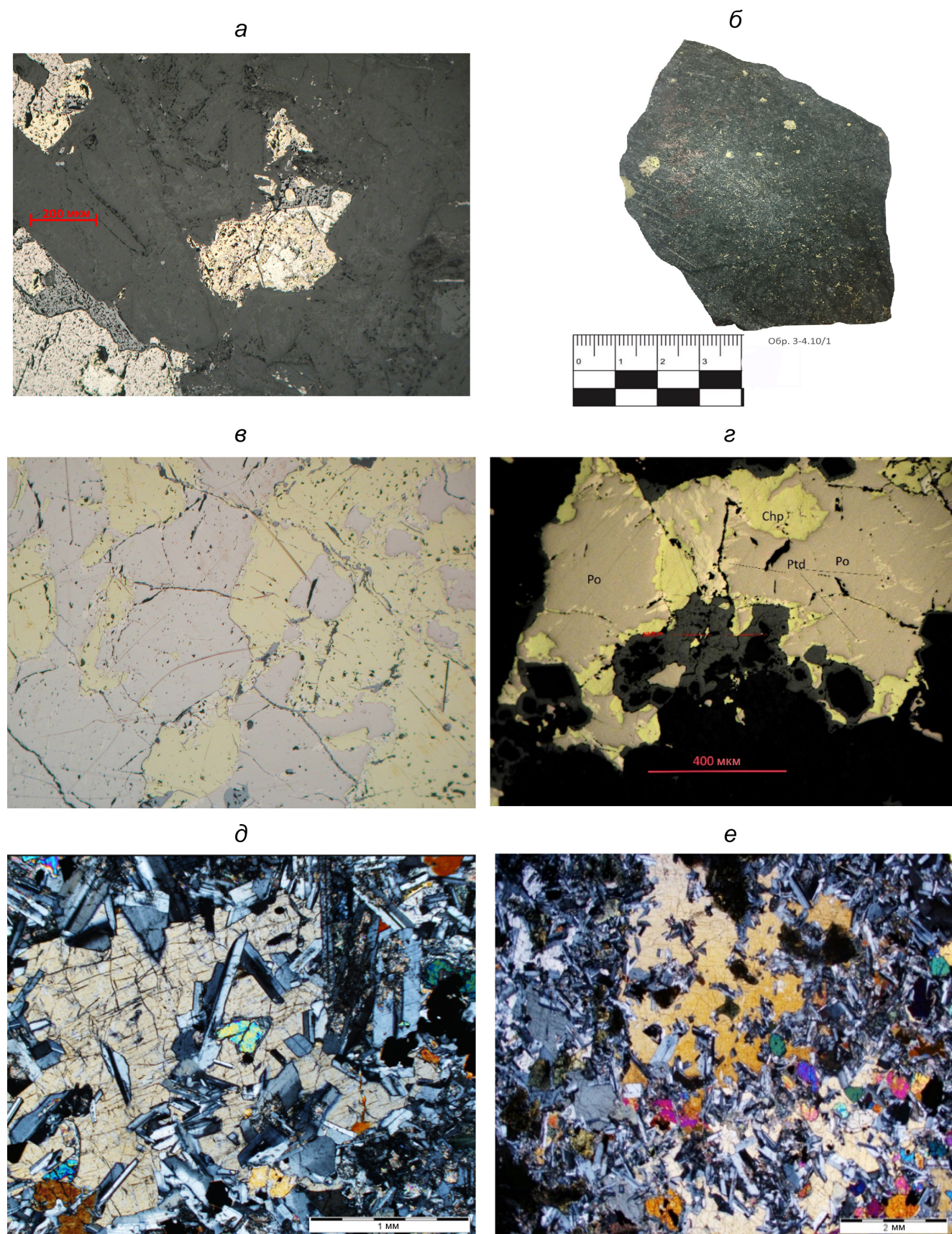


Рис. 8. Обр. 3-4.10/1. Контактный габбро-долерит с вкрапленной минерализацией: *а* — в отраженном свете; *б* — общий вид; *в* — крупные выделения пирротина I в такситовом габбро-долерите; *г* — выделения пламевидного пентландита в пирротине; *д* — безоливиновый габбро-долерит; *е* — пикритовый габбро-долерит; изображение в проходящем свете (никколи скрещены)

графических горизонтов, которые имеют разную мощность и локальные особенности в полях разных рудников. Верхний горизонт является наиболее пестрым по составу. Он объединяет различные породы эндоконтакта — контактовые долериты, лейкократовые габбро, диориты, габбро-диориты, габбро-пегматиты и часто мета- и эруптивные брекчии. Ниже залегает горизонт безоливиновых габбро-долеритов офитовой и пойкилоофитовых структур, который сменяется горизонтом оливиновых габбро-долеритов. Еще ниже по разрезу залегает горизонт пикритовых и троктолитовых габбро-долеритов, плагиоклазовых перидотитов, к которому приурочены балансовые вкрапленные руды. Горизонт рудных такситовых габбро-долеритов является принадлежностью только рудоносных массивов. Присутствие в разрезе пикритовых и такситовых габбро-долеритов является характерной особенностью для рудоносных интрузий норильского типа. Для всех интрузивных ветвей интрузива, выдерживается последовательность распространения указанных горизонтов в вертикальном разрезе.

Вкрапленные руды обладают изменчивостью оруденения, практически по всем параметрам тяготеющей ко 2 группе сложности. Протоколом ГКЗ при последнем утверждении запасов вкрапленные руды Октябрьского месторождения были отнесены к 1 группе. Однако подсчитанные при статистическом анализе параметры, особенно коэффициенты вариации мощности и средних содержаний полезных компонентов, дают полное основание к отнесению вкрапленных руд ко 2 группе сложности (табл. 4).

В такситовых габбро-долеритах сульфиды образуют гнезда неправильной формы, размером до

4 см и неравномерную вкрапленность размером до 1–2 мм. Основным минералом является пирротин (пирротин I), он образует крупные кристаллы размером до 1–2 см, которые насыщены включениями пламевидного пентландита (рис. 8, д), а также более мелкие зерна. В ассоциации с пламевидным пентландитом находится халькопирит.

В крупных зернах халькопирита наблюдается зернистый пирротин (пирротин II), зернистый пентландит, характерна также эмульсионная вкрапленность пентландита (рис. 8, е), а также мелкозернистый и эмульсионный сфалерит, иногда — призматические включения кубанита.

В пикритовых габбро-долеритах сульфиды образуют каплевидные гнезда, расслоенные на халькопиритовую и пирротиновую части, а также более тонкую интерстиционную вкрапленность.

Пентландит образует зернистую и пламевидную структурные формы. Халькопирит содержит включения овального и призматического кубанита. Для пикритовых габбро-долеритов характерна мелкая вкрапленность идиоморфного хромита.

Вкрапленная руда в оливиновых и оливинсо-державших габбро-долеритах характерной «горошчатой» текстуры имеет сидеронитовую структуру. Это равномерная вкрапленность, сложенная в основном мономинеральным халькопиритом и редкими зернами пентландита размером до 3–4 мм. Пирротин находится подчиненном количестве в позиции включений в халькопирите или пентландите.

Рудная минерализация в троктолитовых габбро-долеритах является гнездово-вкрапленной с размером фаз до 1–2 см. Состав вкрапленности пентландит-халькопирит-пирротиновый с отдель-

Таблица 4

Значения показателей группы сложности вкрапленных руд Октябрьского месторождения

Группы сложности и варианты оконтуривания*	Показатели изменчивости объектов						
	Формы			Содержания			
	коэффициент рудоносности K_p	показатель сложности q	коэффициент вариации мощности V_m , %	коэффициент вариации содержания V_c , %			
				Ni	Cu	Pt	Pd
Первая	0,9–1,0	0,8–0,9	<40	<40			
Вторая	0,7–0,9	0,6–0,8	40–100	40–100			
0,55-3-5	0,88	0,82	83	46	69	95	72
0,7-3-5	0,84	0,79	71	52	83	129	90
0,85-3-5	0,81	0,77	72	59	98	133	93
1,0-3-5	0,76	0,75	74	57	92	137	89
0,55-3-10	0,89	0,85	85	45	65	79	62
0,85-3-10	0,84	0,81	73	57	97	134	93
Третья	0,4–0,7	0,4–0,6	100–150	100–150			
Четвертая	<0,4	<0,4	>150	>150			

Примечание. * — бортовое содержание условного никеля — минимальная мощность рудного тела — максимальная мощность прослоев пустых пород.

ными зернами кубанита в халькопирите, а также сфалерита и магнетита. Интерстиционная вкрапленность в троктолитах является более густой и крупной (до 1–2 мм).

Пирит наблюдается в измененных габбро-долеритах, породах гранат — оливин — ангидритового состава с прожилками карбонатов, хлорита и в зонах серпентинизации габбро-долерита. Он находится в непосредственных сростаниях с рудными сульфидами или образует прожилки в силикатах.

В изученных пробах вкрапленных руд встречаются следующие минералы ЭПГ: паоловит (Pd_2Sn), и атоцит ($\text{Pt,Pd}_3\text{Sn}$), изоферроплатина ($\text{Pt,Pd}_3(\text{Fe,Cu})$), а также самородное золото (Au,Ag).

Заключение. Таким образом, представленные новые данные расширяют знания о рудных телах на флангах Октябрьского месторождения. Западный фланг месторождения характеризуются сложным геологическим строением и развитием всех типов руд: богатых, медистых и прожилково-вкрапленных, что подтверждается данными разведочного бурения последних трех лет. Все типы руд пространственно связаны и образуют субгоризонтальную рудную зону, в которой выделено несколько горизонтов залежей промышленных типов руд, согласно условиям кондиций. Как и в осевых зонах интрузивных ветвей, морфология рудных тел западной части месторождения определяется контуром развития пикритовых и такситовых разновидностей габбро-долеритов.

Рудные тела богатых руд залегают в придонных горизонтах Хараелахского интрузива. С учетом отработанных на данный момент залежей, средняя мощность рудных тел от первых десятков сантиметров до 3–8 м. На Западном фланге Октябрьского месторождения эти руды характеризуются сходным минеральным составом, структурой и текстурой со сплошными рудами халькопирит-пирротиновой состава в основной залежи Октябрьского месторождения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Будько И.А., Кулагов Э.А. Новый минерал талнахит — кубическая разновидность халькопирита // Зап. Всесоюз. Минер. о-ва. 1968. Ч. 97. Вып. 1.
2. Генкин А.Д., Филимонова А.А., Шадлун Т.Н. Текстуры и структуры руд. М.: Госгеолиздат, 1958.
3. Генкин А.Д. Минералы платиновых металлов и их ассоциации в медно-никелевых рудах Норильского месторождения. М.: Наука, 1968. 106 с.
4. Генкин А.Д. Условия нахождения и особенности состава минералов платиновой группы в рудах Норильского месторождения // Геология рудных месторождений. 1959. № 6.
5. Геология Норильской металлогенической провинции / Под ред. И.И. Никулина. М.: МАКС Пресс, 2020. 524 с.
6. Годлевский М.Н. Траппы и рудоносные интрузии Норильского района. М.: Госгеолтехиздат, 1959.

«Медистые» руды Октябрьского месторождения образуют пластообразные залежи с очень изменчивой морфологией, резким колебанием мощностей и непредсказуемым поведением контактов, осложненных более поздней тектоникой. Их локализация и распространение связано с локализацией тел богатых руд, вокруг которых, тела медистых руд образуют своеобразную зону.

Рудное тело вкрапленных руд на западном фланге Октябрьского месторождения распадается на более мелкие тела небольшой мощности, в связи с чем они, по показателям кондиций, разобщены на несколько горизонтов. Верхняя граница рудной залежи коррелирует с кровлей горизонта пикритовых габбро-долеритов, нижняя граница конформна границе интрузива. Минеральный состав вкрапленных руд на западном фланге преимущественно халькопиритовый и отличается от центральной зоны залежей Хараелахского интрузива с халькопирит-пирротиновой и кубанит-пирротиновой вкрапленностью.

В работах предыдущих исследователей показано, что нижние такситовые габбро-долериты являются наиболее рудонасыщенным горизонтом, что прослеживается и в изученной фланговой части Октябрьского месторождения. Повышенные мощности такситовых габбро-долеритов фиксируют основные структуры переноса рудного вещества. В плане контуры распространения этих горизонтов повторяют контуры апофизов рудных тел богатых руд. Большие мощности горизонтов такситовых габбро-долеритов могут использоваться в качестве поискового признака на богатые и вкрапленные руды.

Установленные закономерности пространственного распределения, состава и морфологии залежей сульфидных медно-никелевых руд Октябрьского месторождения расширяют общую характеристику минерально-сырьевой базы Норильской металлогенической провинции, расширение которой является одной из основных задач поисковых работ, проектируемых в будущем.

7. Гриценко Ю.Д., Спиридонов Э.М. Минералы ряда никелин-брейтгауптит метаморфогенно-гидротремальных жил Норильского рудного поля // Новые данные о минералах. 2005. № 40. С. 51–64.
8. Додин Д.А., Батуев Б.Н., Митенков Г.А., Изюитко В.М. Атлас пород и руд норильских месторождений. Л.: Недра, 1971. 560 с.
9. Кривоуцкая Н.А. Эволюция траппового магматизма и Pt-Cu-Ni рудообразование в Норильском районе. М.: KMK Scientific Press, 2013.
10. Кривоуцкая Н.А., Рудакова А.В. Строение и геохимические особенности пород трапповой формации Норильской мульды (СЗ Сибирской платформы) // Геохимия. 2009. № 7. С. 675–698.
11. Лихачев А.П. Возможность самообогащения рудным веществом и тяжелым изотопом серы (^{34}S) мантийных магм, формирующих Pt-Cu-Ni месторождения и пер-

спективное место для локализации руд в Норильском районе // Отечественная геология. 2019. № 3. С. 32–49.

12. Лихачев А.П. Состав и генезис оливинов магматических образований Норильского района // Отечественная геология. 2015. № 2. С. 80–95.

13. Михалев С.К., Служеникин С.Ф., Туровцев Д.М. Платино-медно-никелевое оруденение в ультрабазит-базитовых интрузивах и контактово-метаморфических породах среднего течения р. Кулёмбе, северо-запад Сибирской платформы // Руды и металлы. 2012. № 6. С. 43–60.

14. Нальдрет А.Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометалльных руд. СПб.: СПбГУ, 2003. 487 с.

15. Нальдретт А.Д. Сульфидные никелевые месторождения: классификация, состав и генезис // Генезис рудных месторождений. 1984. Т. 2. С. 253–343.

16. Натюрхин И.А., Архипова А.И., Батуев Б.Н. Петрология Талнахских интрузий. Л.: Недра, 1977. 236 с.

17. Радько В.А. Фации интрузивного и эффузивного магматизма Норильского района СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. 226 с.

18. Роговер Г.Б. Месторождение Норильск-1, некоторые его особенности, могущие иметь поисковое значение, и рациональная методика его разведки. М.: Госгеолтехиздат, 1959.

19. Рябов В.В. О составе верхних контактовых зон норильских интрузий, несущих богатую хромитовую минерализацию // Критерии рудоносности магматических комплексов. Новосибирск: ИГиГ, 1984. С. 124–142.

20. Рябов В.В., Шевко А.Я., Гора М.П. Магматические образования Норильского района. Петрология траппов. Новосибирск: Нонпарель, 2001. Т. 1. 408 с.

21. Рябов В.В., Золотухин В.В. Минералы дифференцированных траппов. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1977. 392 с.

22. Служеникин С.Ф., Дистлер В.В. Григорьева мало-сульфидные платиновые руды Норильского района — перспективные источники благородных металлов // Арктика: экология и экономика. 2016. № 4 (24). С. 32–35.

23. Смирнов М.Ф. Строение норильских никеленосных интрузий и генетические типы их сульфидных руд. М.: Недра, 1966.

24. Соболев А.В., Кривоулицкая Н.А., Кузьмин Д.В. Петрология родоначальных расплавов и мантийных источников магм Сибирской трапповой провинции // Петрология. 2009. Т. 17, № 3. С. 276–310.

25. Сотников А.А. К вопросу об эксплуатации Норильского (Дудинского) месторождения каменного угля и медной руды в связи с практическим осуществлением и развитием Северного морского пути. Томск: Губ. тип., 1919.

26. Спиридонов Э.М. Генетическая модель месторождений Норильского рудного поля // Проблемы минерации, экономической геологии и минеральных ресурсов. 2019. С. 41–113.

27. Спиридонов Э.М. Рудно-магматические системы Норильского рудного поля // Геология и геофизика. 2010. Т. 51, № 9. С. 1356–1378.

28. Спиридонов Э.М., Кулагов Э.А., Степанов В.К. Реальные соотношения эффузивных траппов и рудоносных интрузивных траппов Норильского рудного поля // Ультрамафит-мафитовые комплексы: геология, строение, рудный потенциал. 2017. С. 283–285.

29. Спиридонов Э.М., Гриценко Ю.Д. Эпигенетический низкоградный метаморфизм и Co-Ni-Sb-As минерализация в Норильском рудном поле. М.: Научный мир, 2009. 218 с.

30. Спиридонов Э.М., Ладыгин В.М., Симонов О.Н. и др. Метавулканиты пренит-пумпелиитовой и цеолитовой фации трапповой формации Норильского района Сибирской платформы. М.: Изд-во МГУ, 2000. 212 с.

31. Структурно-текстурные особенности эндогенных руд / Под ред. А.Г. Бетехтина, Т.Н. Шадлуна. М.: Недра, 1964.

32. Campbell I.H., Naldrett A.J. The influence of silicate: sulfide ratios on the geochemistry of magmatic sulfides // Economic Geology. 1979. Т. 74, № 6. С. 1503–1506.

33. Lightfoot P.C. et al. Geochemistry of the Siberian Trap of the Noril'sk area, USSR, with implications for the relative contributions of crust and mantle to flood basalt magmatism // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1990. Т. 104, № 6. С. 631–644.

34. Naldrett A.J. A history of our understanding of magmatic Ni-Cu sulfide deposits // The Canadian Mineralogist. 2005. Т. 43, № 6. С. 2069–2098.

35. Naldrett A.J. et al. Magmatic sulfide deposits: geology, geochemistry and exploration. Springer Science & Business Media, 2004.

36. Naldrett A.J. World-class Ni-Cu-PGE deposits: key factors in their genesis // Mineralium deposit. 1999. Т. 34, № 3. С. 227–240.

Статья поступила в редакцию 26.11.2022,
одобрена после рецензирования 22.03.2023,
принята к публикации 22.07.2023