© Л.К. Мирошникова, 2013

УДК 551.214.4; 550.84.094.1

Л.К. Мирошникова

ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПЛОЩАДИ КОРЕННЫХ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД

Установлено соответствие зональности геохимического поля рудных горизонтов направлению осевых линий интрузивных тел и направлению развития процессов рудообразования. Зональность геохимического поля соответствует минералогической зональности рудных тел.

Ключевые слова: геохимическое поле, интрузив, рудный горизонт.

В Норильском горнорудном районе основным полезным ископаемым являются сульфидные Cu—Ni руды с платиноидами и золотом, известные месторождения которых интенсивно разрабатываются. Особую актуальность приобретает задача поисков сульфидных Cu—Ni руд в пределах рудных узлов с промышленными месторождениями, фланги и глубокие горизонты которых изучены недостаточно. Обнаружение в полнодифференцированных интрузивах осевой зоны во фронтальной фации является главной целью поисковых работ, так как именно эти части интрузий норильского типа обладают наивысшей степенью рудоносности (Е.Н. Суханова).

И, как одним из методов, для локального прогноза в предлагаемой работе рассматривается соответствие зональности геохимического поля медно-никелевого типа и построений осевых зон интрузива, а также направления фракционирования сульфидного расплава на основе распределения рудогенных микроэлементов. В основе решения данной задачи лежит сопоставление теоретических построения минеральной и генетической зональности рудных горизонтов (В.А. Рябикин, А.С. Торгашин, В.А. Радько, А.Д. Генкин, В.В. Дистлер, Г.Д. Гладышев и др.) с предлагаемой автором зональной структурой геохимических полей первичных ореолов в интрузивных породах.

Для решения поисковой задачи изучались первичные ореолы рассеяния полезных компонентов (Cu, Ni и платиноидов), при этом подразумевалось распределение этих элементов в опробованных разрезах на территории участка. При составлении схем и разрезов по простиранию и вкрест простирания интрузивов на площади Талнахского рудного поля использовались разрезы по скважинам, пройденных с полным отбором керна по исследуемым интервалам. Параметры разведочной сети составляли 100х200 м до 50х50 м. Для локального прогноза использовались данные 20 скважин, которые вскрыли дифференцированную интрузию, содержащую сульфидную минерализацию.

При составлении геолого-геохимических схем и разрезов по простиранию и вкрест простирания интрузива использовались данные литохимического опробования по скважинам,

пройденным с полным отбором керна по исследуемым интервалам. Для моделирования геохимического поля рассматривалось распределение редких микроэлементов в опробованных разрезах на территории участка.

Аналитические работы производились в Центральной лаборатории ФГУП «ВСЕГЕИ». Пробы, отобранные по разрезу эффузивных и осадочных пород анализировались эмиссионным методом приближенно-количественного спектрального (ПКСА) анализа способом просыпки-вдувания с применением спектрографа СТЭ-1 и п/а штатива УСА-6. для геохимических проб, приближенно-количественным спектральным способом испарения из канала электрода для рудных проб. Для ПКСА способом просыпки-вдувания применялся спектрограф СТЭ-1 и п/а штатива УСА-6, для ПКСА способом испарения из канала электролиза- спектрограф СТЭ-1, укомплектованный МАЭС (многоканальный анализатор эмиссионных спектров). Для моделирования осевых зон интрузивных тел привлекались результаты химического анализа, приведенные по опубликованным материалам G.K. Czamanske, P.C. Lightfoot, J.L. Wooden, G.K. Naldrett, C.J. Hawkesworth, G.E. Brugmann, M.F. Horan, V.A. Fedorenko et al. (1996), Д.М. Туровцева (2002).

При построении геохимического поля применялся метод многомерных полей, дающий возможность автоматически конструировать эмпирические модели изучаемых объектов в поисковых целях. Компьютерная обработка геохимических данных производилась с применением пакета программ автоматизированной системы «ГЕОСКАН» позволяющей моделировать полиэлементную структуру геохимического поля в поисковых целях [6].

Под понятием ***геохимического поля (ГХП)*** понимается область пространства, каждой точке которого поставлен в соответствие ряд концентраций химических элементов, аналитически определенных в данной точке.

В структуре ГХП были выделены формальные термины зона рассеянной минерализации (ЗРМ), аномалия, фон, которые соответствуют обобщенным уровням различных энергетических состояний системы ГХП. Аномальные области в соответствии с условиями обработки базы данных анализов выделены по значению коэффициентов концентраций (Кк) главенствующих элементов $\geq$ 3. Под *аномалией будем понимать элемент пространственной структуры ГХП, который характеризуется согласованным (координированным) поведением ряда элементов при одновременном возрастании их концентраций.* Закономерная пространственная смена аномальных ассоциаций обуславливает зональность геохимического поля.

В структуре ГХП выделены области (зоны) *рассеянной минерализации (ЗРМ), для которых характерны пространственно несогласованное возрастание концентраций отдельных микроэлементов, связанное с развитием рассеянной рудной минерализации, а сами эти области часто оказываются сопряженными с аномалиями.* Границы ЗРМ выделены в пределах значений $1{,}5 \leq Кк \leq 3{,}0$. Включение ЗРМ в контур геохимического поля, позволяет анализировать не только контрастные центральные представленные аномалиями части, но и слабопроявленные фланги геохимиче-

ского поля, где происходит затухание организующих процессов.

Областью многомерного *геохимического фона является область пространства, каждой точке которого соответствуют одновременно низкие и взаимонезависимые концентрации химических элементов.* Значения фоновых содержаний, как правило, в пределах порядка сопоставимы со значениями соответствующих кларков, т. е. коэффициенты концентрации (Кк) близки к значению 1 ($0.7 < Кк \leq 1.5$).

Средством выражения состава геохимического типа является геохимическая ассоциация (ГХА). Основой для выделения геохимических ассоциаций является химический состав минералов минерагенических систем.

Продуктивность медно-никелевых ореолов ГХП в соответствии со средним содержанием в них металлов представлена следующим образом. Содержания меди до 0,1 вес.%, и никеля до 0,2 вес. % отмечаются в областях фона ($0,8 \leq Кк \geq 1,5$), в аномалиях ($Кк \geq 3$) Cu содержится $\geq 0,3$ вес.%, а $Ni \geq 0,25$ вес.%. В зависимости от минерального состава руд главенствующее положение в ГХА ореолов медно-никелевого типа принадлежит меди (халькопиритовые руды) или никелю (пентландит- пирротиновые руды).

Геологическое строение площади Талнахского рудного узла и генетические аспекты формирования сульфидных медно-никелевых руд

Талнахский и Норильский рудные узлы является составным элементом крупной рудоконцентрирующей рудно-магматической структуры – Кетско-Норильской, которая в свою очередь является частью Тургайско-Хатангской рифтовой зоны, расположенной в пределах суперрегиональной никеленосно-платиноносной Таймыро – Норильской провинции Енисейско-Североземельского металлогенического пояса (Додин Д.А, 2002). Талнахский рудный узел (ТРУ) расположен на юго — западе Хараелахской мульды и приурочен к поперечному сочленению Норильско – Хараелахского разлома с Пясинским куполовидным поднятием.

Сульфидные медно-никелевые месторождения Норильского региона находятся в интрузиях, которые ассоциируют с платобазальтовым магматизмом. Разнообразные магматические образования по данным U-Pb датирования, выполненным Kamo et al (2000), были сформированы в течение полутора миллионов лет, в период от 251.7±0.5 до 250.2±0.3 млн. лет назад [8].

Все месторождения Норильского региона, как промышленные, так и забалансовые связаны только с некоторыми интрузиями норильского типа. Интрузии норильского типа ($\omega\gamma$-$\gamma\delta T_1 nr^{nr}$) ТРУ Талнахская и Верхне-Хараелахская дифференцированы от габбродолеритов нормального ряда до такситовых и пикритовых габбродолеритов с рудной вкрапленностью в нижней части интрузии и до лейкогаббро и габбродиоритов в верхней части. К нижней части полнодифференцированных интрузий норильского типа в качестве одного из дифференциатов приурочены пластовые тела сплошных сульфидных Cu – Ni руд, которые располагаются в теле интрузива в виде линз и пластовых залежей и в роговиках нижнего экзоконтакта. Кроме того, в слабоэродированном массиве Хараелахской интрузии (западная ветвь Верхнее-

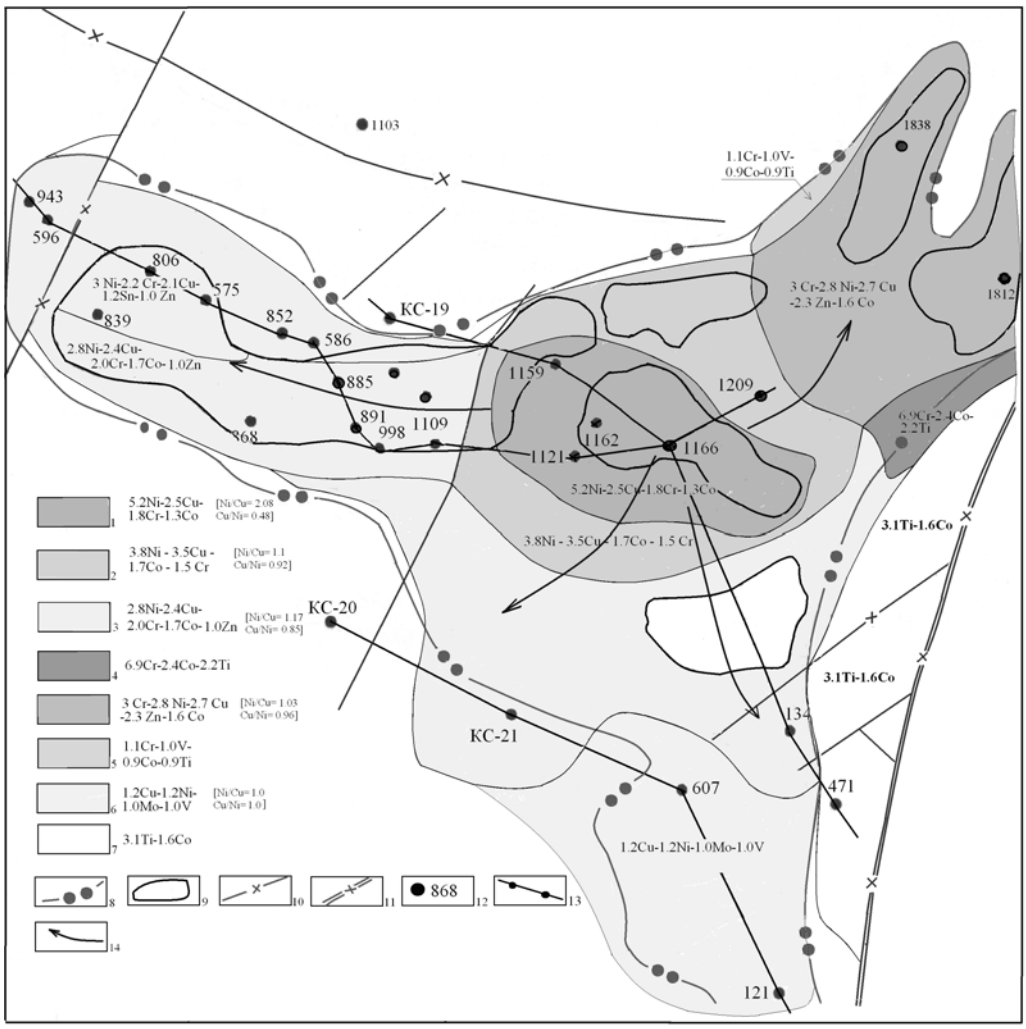

Рис. 1. Строение геохимического поля горизонта оливиновых габбродолеритов Хараелахского интрузива: *1—6* развитие медно-никелевого типа (цифрами указаны значения коэффициентов концентраций); *2* — геохимический тип титановый; *8* — промышленный контур рудоносного интрузива; *9* — границы залежей массивных и медистых руд; *10* – Норильско-Хараелахский разлом; *11* — другие тектонические нарушения; *12* – опорные скважины и их номера; *13* — линии разрезов; *14* — направление осевых линий

Талнахской интрузии) сплошные сульфидные Cu–Ni руды интрудированы, в результате коллапса субвулканической камеры, и в породы верхнего экзоконтакта в виде сплошных, брекчиевидных и густовкрапленных медистых руд, образующих тела сложной морфологии.

Сплошные сульфидные руды являются одним из дифференциатов интрузии и их первичное положение в интрузии, по мнению А.Дж. Налдрет, В.А. Радько, В.А. Федоренко определялось в такситовых и пикритовых габбродолеритах. После отжатия первичной линзы сульфидного рас-

плава в нижний экзоконтакт на месте ее образования остаются прессинг-такситы и прессинг-пикриты с остаточным содержанием сульфидов более 50 %. Богатые сплошные руды слагают пластиноподобные тела – залежи и жилы, выделяемые в пределах общего поля их расположения. Наиболее крупные скопления сплошных сульфидов тяготеют к углублениям и «выбоинам» в подошве фронтальной зоны рудоносной интрузии.

Результаты исследований

Выделяемые несколько зон концентрирования рудогенных микроэлементов на площади Талнахского рудного узла занимают в пространстве вполне определенные позиции, совпадая с границами развития рудоносных интрузий, и соответствуют реально существующим геологическим объектам — горизонтам с сульфидным оруденением.

В настоящей работе автор одним из направлений локального прогноза сульфидной минерализации на флангах месторождений, предлагает производить моделирование осевых линий фракционирования сульфидной магмы, что позволит определить направление развития рудной минерализации внутри контура промышленных руд месторождения. Воздействие сульфидной составляющей магматического расплава и ее флюидов на вмещающие интрузивные и метаморфические породы их контактового ореола не ограничивается контуром месторождения, границы которого являются не естественными геологическими границами выклинивания рудных тел, а обусловлены экономическими, горнотехническими и технологическими факторами.

Основанием определения направления осевой линии развития фракционирования сульфидной жидкости, является латеральная зональность геохимических полей горизонтов вкрапленных руд в оливиновых, пикритовых и такситовых габбродолеритах, основанная на неравномерном распределении основных рудообразующих элементов Cu и Ni и параметров отношений Cu /Ni и (Pt+Pd)/(Ru+Os+Ir).

Было определено три направления осевых линий развития фракционирования сульфидной жидкости, которые представляют собой не бесконечно тонкую линию, а пучок кривых, определяющих в своей совокупности осевую часть рудной зоны (В.А. Радько, 1993).

Состав сульфидных руд определяется тремя факторами: составом силикатной магмы, из которой сегрегировались сульфиды, N-фактором (отношение количества магмы, прошедшей через систему и отреагировавшей с сульфидом, к количеству сульфида в системе) и степенью фракционирования сульфидной жидкости в ходе ее кристаллизации (Налдрет). Данные аспекты достаточно подробно рассмотрены в работах Налдрет, Радько, Генкин, Федоренко и др., которые отмечают, что при охлаждении природных сульфидных магма кристаллизуются mss. На поздней высокотемпературной стадии рудообразования, когда кристаллизовались и фракционировали массивные руды выше вкрапленных, отмечается обогащение первичного оруденения фракционированной сульфидной жидкостью, обогащенной Cu, Pd, Pt и Au и обедненой Co, Rh, Ru, Ir и Os. Следовательно, наблюдаемый в настоящее время состав сульфидов в интрузивных породах является суммой состава первоначального сульфида и компо-

нента, добавленного пропитывающей жидкостью (Налдрет). Скорее всего, первичное вкрапленное оруденение возможно, сохраняется только в верхних дифференциатах интрузива (габбродолериты оливиновые и оливинсодержащие).

Моделирование положения осевых линий основано на результатах анализов, приведенных в табл. 1, 2.

Для изучения распределения меди и никеля в первичном сульфидном оруденении рассмотрена зональность ГХП оливиновых габбродолеритов, отстроенная по горизонту оливиновых габбродолеритов Хараелахского рудоносного интрузива (рис. 1).

Максимальные концентрации никеля отмечаются в центральной части Хараелахского интрузива (скв. КЗ-1162). По мере удаления от центра концентрации никеля и меди снижаются и в южной части поля области зон рассеянной минерализации, окружающие аномалии, окаймляются областью с фоновыми содержаниями меди и никеля и аномалиями титанового геохимического типа (скв. 471) В центральной части поля отношение Ni/Cu = 2.1 (аномалия), в зонах рассеянной минерализации Ni/Cu = 1.1, в западном направлении значение Ni/Cu несколько повышается и равно 1.2-1.4 (табл. 1). Можно заключить, что для первичного сульфидного оруденения характерно его геохимическая специализация на никель и преобладание никеля над медью.

Содержания Cu, Ni – вес.%; Pt, Pd, Rh, Ru, Os, Ir – г/т. Анализы приведены по опубликованным материалам А.Дж. Налдрета (2003) и Czamanske et al/ (1992).

По горизонту вкрапленных руд в пикритовых и такситовых габбродолеритов распределение меди и никеля следующее. Изменение концентрации металлов наблюдается вдоль линий, определенных как осевые. Максимальное количество меди и никеля отмечается в центральной части Хараелахского интрузива (КЗ-1162). По мере удаления от центра наблюдается последовательное снижение содержания Cu и Ni, причем содержания металлов в северном направлении (скв. КЗ-1812 и КЗ-1739) несколько выше, чем в западном. В пределах западной части Хараелахского интрузива выделяется область (скв. КЗ-835 и скв. КЗ- 862), в которой содержания меди и никеля меняются незначительно и несколько превышают количество металлов по остальным скважинам (скв. КЗ-835 и скв. КЗ- 862) (табл. 1). Распределение значений отношения Cu/Ni по горизонту вкрапленных руд в пикритовых и такситовых габбродолеритах следующее. В поле Талнахского месторождения, где минеральный состав вкрапленных руд в основном пирротиновый, значения отношения не превышают единицы. В поле месторождения в западном направлении от центра интрузива (КЗ-1162) наблюдается последовательное увеличение параметров Cu/Ni и максимальные их значения отмечается в районе скв. КЗ- 862 (Cu/Ni = 11) и П- 3202 (Cu/Ni = 7,8). Вполне вероятно, в указанном направлении идет процесс обогащения сульфидов Cu за счет фракционирования сульфидного расплава.

По горизонту массивных и медистых руд в распределении параметров отношения Cu/Ni отмечается та же закономерность, что и во вкрапленных рудах в пикритовых и такситовых габбродолеритах. Отмечено, что возрастание параметров отношений Cu/Ni прослеживается в одном случае к западу от центра Хараелахского интрузива (скв. КЗ-1162), а во втором – к югу.

Таблица 1

Средние составы сульфидов и отношения Cu/Ni вкрапленных, массивных и «медистых руд» (в пересчете на 100-процентный сульфид)

Интрузия	Скважины	Массивные руды			Медистые руды			Вкрапленные руды					
								Гп			Гт		
		Cu вес.%	Ni вес.%	Cu/Ni	Cu вес.%	Ni вес.%	Cu/Ni	Cu вес.%	Ni вес.%	Cu/Ni	Cu вес.%	Ni вес.%	Cu/Ni
	СВ-28										4,4	10,5	0,4
Талнахская	П-1769	4,33	5,81	0,75	3,86	5,18	0,74	10,41	7,02	1,5	9,25	5,96	1,6
	КЗ-1796	3,97	6,39	0,6				10,44	6,6	1,6	10,62	5,83	1,8
	КЗ-1739	5,48	5,24	1,1	4,82	4,58	1,1	10,4	5,95	1,5	10,73	4,6	2,3
	Комс. (шахта восток)				1.97	0.79	2,5						
	Скал.				2.06	0.74	2,8						
	Маяк				3.21	0.65	5,0						
Хараелахская (центр)	КЗ-1162	15,05	4,48	3,4	12,9	3,84	3,4	12,66	7,25	1,7	10,45	5,23	2,0
Хараелахская (восток)	КЗ-1812	4,33	5,81	0,74	3,9	4,63	0,84				11,45	6,15	1,9
	КЗ-1838				1,1	0,8	1,4						
Хараелахская (запад)	П-3202	21,6	2,76	7,8				5,14	1,59	3,2			
	КЗ-868	5,32	3,92	1,4	3,83	2,89	1,3				6,29	3,74	1,7
	КЗ-835	3,68	3,37	1,1				8,33	1,97	4,2	6,69	3,3	
	КЗ-837	5,77	3,4	1,7									
	КЗ-588	5,43	3,41	1,6				5,96	2,88	2,1	5,63	2,49	2,3
	КЗ-839	6,79	3,43	2,0				5,85	2,52	2,23	6,09	2,34	2,6
	КЗ-860	4,19	3,42	1,2									
	КЗ-862	6,58	3,45	1,9				9,37	3,59	2,6	5,78	2,45	2,3
	Окт Cu	19,5	3,38	5,8	4.95	1.10	4,5						
	Тайм	4,39	3,99	1,1	4,05	3,57	1,13						
	Комс (шахта запад)				2.19	0.76	2,9						

Таблица 2

Средние составы ЭПГ и показатель отношения (Pt+Pd)/(Ru+Os+Ir) в сульфидах вкрапленных, массивных и «медистых руд» (в пересчете на 100-процентный сульфид)

Месторождение, поле рудника, скважины	**M (м)**	**Pd**	**Pt**	**Ru**	**Os**	**Ir**	**(Pd+Pt)/ (Ru+Os+Ir)**
Октябрьское месторождение. Западная часть							
Вкрапленные руды	18	6415	469	24	14	9	167
Скв. КЗ-868							
Р-к Октябрьский		14980	3570	18	47	37	181
Массивные руды							
Скв. КЗ-868		2391	649	8	5	5	168
Р-к Таймырский		5854	1438	75	63	37	42
Богатые медью массивные руды (р-к Октябрьский)		43503	9011	4	16	11	1694
Медистые руды (р-к Октябрьский)							76
Октябрьское месторождение. Центральная и восточная часть							
Вкрапленные руды							
Скв. КЗ-1162	48	2384	611	14	6	5	120
Скв. КЗ-1812	8	2638	508	18	8	7	95
Массивные руды							
Скв. КЗ-1162	5	15344	2400	10	7	9	687
Скв. КЗ-1812 р-к Глубокий	3	7454	1390	64	54	27	52
Медистые руды							
Скв. КЗ-1812	4	2954	879	118	54	30	19
Р-к Комсомольский (шахта Запад)		6630	1740	290	20	30	25

147

Окончание табл. 2

Месторождение, поле рудника, скважины	**M (м)**	**Pd**	**Pt**	**Ru**	**Os**	**Ir**	**(Pd+Pt)/ (Ru+Os+Ir)**
Талнахское месторождение							
Вкрапленные руды							
Скв. КЗ-1739	59	2271	604	26	12	8	62
Скв. КЗ-1796	24	2260	779	45	23	15	37
р-к Скалистый							
Скв. П-1769	46	3335	1142	32	15	10	79
р-к Маяк		5875	2312	70	37	30	60
Массивные руды							
Скв. КЗ-1739	5	7747	1837	108	68	133	23
Скв. КЗ-1796	3	5897	1844	424	236	115	10
Скв. П-1769	2	12223	2756	111	56	27	77
Р-к Комсомольский (шахта Восток)		6910	2000	320	32	20	21,8
р-к Маяк		7240	2300	300	30	30	26,5
р-к Скалистый		4980	1680	300	30	28	18,5

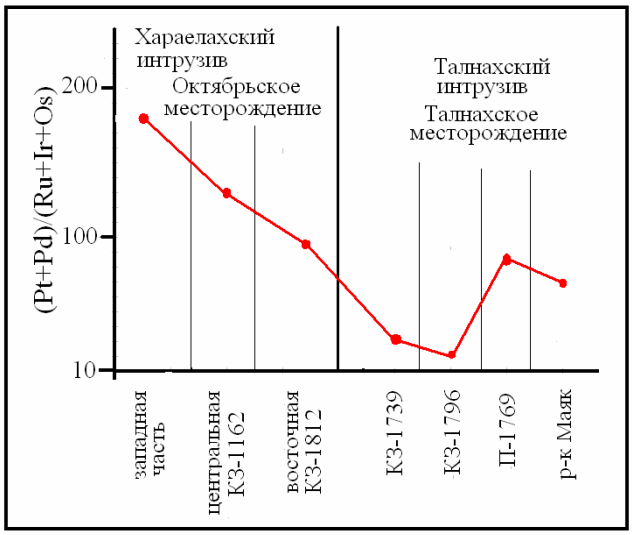

Рис. 2. Диаграмма распределение отношения* (Pt+Pd)/(Ru+Ir+Os) *по горизонтам вкрапленных руд в пикритовых и такситовых габбродолеритах

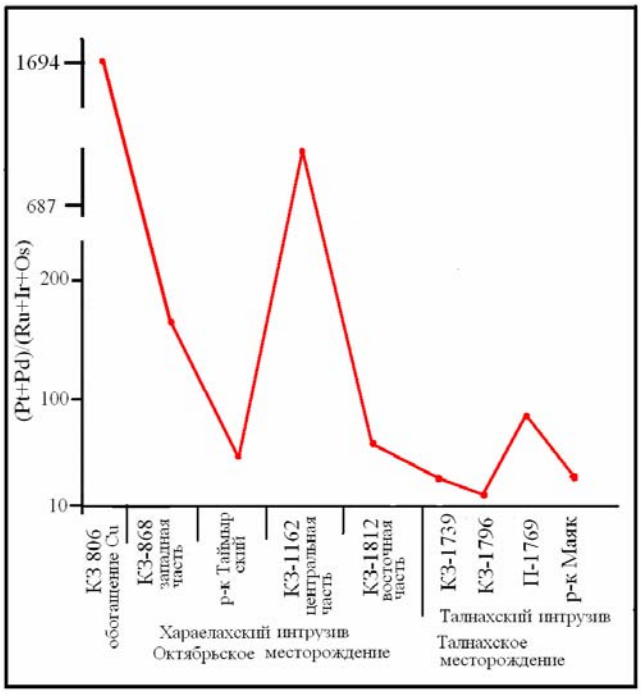

Рис. 3. Диаграмма распределения параметров отношения* (Pt+Pd)/(Ru+Ir+Os) *по горизонтам массивных и медистых руд Октябрьского и Талнахского месторождений

При рассмотрении строения геохимического поля в горизонтах массивных, медистых и прожилково-вкрапленных руд было установлено, что зональность ГХП соответствует минеральной зональности массивных руд. В пространстве развития сульфидов с преобладанием халькопирита выделяется поле медно-никелевой специализации, причем в направлении к западу от центра интрузива отмечается увеличении концентрации меди. Наиболее высококонтрастные аномалии отмечаются в рудах западной части Хараелахского интрузива (коэффициент концентрации меди до 373 по скв. К3-806), где сконцентрированы сульфиды преимущественно кубанитового состава, образующиеся в позднюю стадию рудообразования в ходе фракционирования сульфидной жидкости.

Характерным признаком фракционирования сульфидной жидкости в процессе рудообразования, как в месторождениях Талнахского рудного узла, так и Кольского полуострова является обогащение ее остаточного расплава Pt и Pd и обеднение Ru, Ir и Os. Вариации отношения (Pt+Pd)/ (Ru+Ir+Os) связаны с фракционированием сульфидного расплава, в процессе которого идет кристаллизация *mss* и совмес-

тимые с ним элементы Ru, Ir и Os удаляются в кристаллический осадок. При этом Pt, Pd совместно с Au Cu накапливаются в остаточной жидкости (Brugman et al., 2002). Следовательно, значение отношения (Pt+Pd)/ (Ru+Ir+Os) можно рассматривать в качестве показателя фракционирования, а его значение и распределение по площади будет отображать интенсивность процесса и направление его развития. В пределах рассматриваемой части месторождения при достаточно низких содержаниях Ru, Ir и Os, максимальные значения во вкрапленных (Pt+Pd)/ (Ru+Ir+Os) отмечаются в западной и центральной частях равные соответственно 180 и 120 (табл. 2).. В целом тренд распределения значений монотонно убывающий и только в южной части и юго-восточной части месторождения отмечается заметное увеличение показателя отношения = 60-76 (рис. 2).

Среди массивных и медистых руд Октябрьского и Талнахского месторождений отмечается довольно крутой профиль распределения показателей отношения (Pt+Pd) / (Ru+ Ir+ + Os). Здесь, также как и во вкрапленных рудах, максимальные показатели отмечаются в пределах рудных горизонтов западной и центральной частей Хараелахского интрузива (табл. 2). Всплеск увеличения показателя (Pt+Pd)/(Ru+Ir+Os) = = 77 отмечается в южном участке рудного поля (рис. 3).

Выводы

Установлено соответствие зональности геохимического поля рудных горизонтов направлению осевых линий интрузивных тел и направлению развития процессов рудообразования. Зональность геохимического поля соответствует минералогической зональности рудных тел.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Суханова Е.Н.* О принципиальной модели рудоносных интрузивов Норильского типа и ее применимости. / В кн.: Геология и полезные ископаемые Норильского района. (Материалы II Норильской геологической конференции). — Изд. Норильского ГМК, 1971, с. 159–162.

2. *Рябикин В.А., Торгашин А.С. и др.* Вкрапленные руды Норильских медно – никелевых месторождений – перспективный источник платинометального сырья. // Цветные металлы 2007, №7, с. 16 — 21.

3. *Генкин А.Д., Дистлер В.В., Гладышев Г.Д. и др*. Сульфидные медно-никелевые руды норильских месторождений. — М.: Наука, 1981.

4. *Радько В.А.* Модель динамической дифференциации интрузивных траппов северо-запада Сибирской платформы. //Геология и геофизика, № 11, Новосибирск, 1991. С. 19-26.

5. *Налдретт А.Дж.* Сульфидные медно-никелевые месторождения: классификация, состав и генезис /Генезис рудных месторождений. т.2/. М.: Мир, 1984, с. 253-343.

6. *Коган Б.С., Гинзбург Л.Н., Буренков Э.ЛК., Резников И.Н., Евсеев В.А.* Методические рекомендации по применению системы «ГЕОСКАН – 200» при обработке неоднородной геохимической информации на ЭВМ. М.: ИМГРЭ, 1989. 44 с.

7. *Додин Д.А.* Металлогения Таймыро-Норильского региона. С-Пб.: Наука, 2002. С. 230 – 231.

8. *Kamo S.L., Czamanske G.K., Krogh T.E.* A minimum U-Pb age for Siberian flood vocanism // Geochim. Cosmocyim. Acta. 1996. V. 60. P. 3505-3511. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Мирошникова Людмила Константиновна — кандидат геолого-минералогических наук, доцент, miroshnikova_lk@ mail. Ru
Норильский индустриальный институт.