

ПЕТРОХИМИЧЕСКАЯ И ГЕОХИМИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННО-РУДОНОСНОГО УЛЬТРАМАФИТ-МАФИТОВОГО ИНТРУЗИВА НОРИЛЬСК-1 (РОССИЯ)

© 2018 г. К. Н. Малич, А. А. Степашко*, И. Ю. Баданина, С. Ф. Служеникин**

В статье охарактеризованы петрохимические и геохимические особенности пород промышленно-рудноносного интрузива Норильск-1, свидетельствующие о неоднородном составе слагающих его породных ассоциаций и рудных концентраций. С петрохимической точки зрения разрез интрузива Норильск-1 состоит из двух частей; для каждой характерно наличие ультрамафитов в центральной части и габброидов – по периферии. Максимальная продуктивность (до 33 г/т палладия и платины) характерна для ультраосновных пород с такситовой текстурой как в верхней части интрузива, так и в нижней. Петрохимические и геохимические данные могут быть эффективно использованы для обнаружения подобных рудоносных пород в слабо изученных ультрамафит-мафитовых интрузивах Полярной Сибири.

ВВЕДЕНИЕ

Уникальные месторождения платиноидов, никеля и меди, тесно связанные с тремя ультрамафит-мафитовыми интрузивами (Талнахским, Харалахским и Норильск-1) мощностью до 360 м и протяженностью до 20 км, расположены в пределах Игарско-Норильской палеорифтогенной системы на северо-западе Восточной Сибири [Геология..., 2002]. Несмотря на длительное изучение ультрамафит-мафитовых интрузивов Норильской провинции, с которыми ассоциируют разные по масштабу комплексные сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения, проблемы генезиса их пород и руд, источников силикатного и рудного вещества, время и способ формирования оруденения трактуются различно, оставаясь предметом непрекращающихся дискуссий на протяжении XX столетия и до настоящего времени [Годлевский, 1959; Золотухин и др., 1975; Дистлер и др., 1988; Dyuzhnikov et al., 1992; Туганова, 2000; Рябов и др., 2000; Naldrett, 2004; Лихачев, 2006; Starostin, Sorokhtin, 2011; Криволицкая, 2014; Malitch et al., 2017; и др.].

На протяжении всей истории открытия и изучения Норильского рудного района велся непрерывный поиск надежных критериев и признаков прогноза месторождений цветных и благородных металлов, связанных с ультрамафит-мафитовыми интрузивами. Для Норильского района одним из таких признаков является внутреннее строение интрузивных производных ультраосновного магматизма. В разрезе промышленно-рудноносных интрузивов, как правило, выделяются

два мегагоризонта: вверху преимущественно габброидный (габбро-диориты, габбро, оливинсодержащие и оливиновые габбро), внизу – ультрамафитовый (так называемый “пикритовый”), сложенный плагиоверлитами, рудными плагиодунитами, троктолитами и подстилающими перекристаллизованными ультрамафитами и габброидами с характерной такситовой текстурой (так называемыми “такситами”). Предметом нашего сообщения являются петрохимические и геохимические данные для пород промышленно-рудноносного интрузива Норильск-1, свидетельствующие о неоднородном составе слагающих его породных ассоциаций и рудных концентраций.

ОБРАЗЦЫ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Интрузив Норильск-1 имеет максимальную мощность 360 м и залегает между терригенными отложениями P_2 и эффузивами T_1 , полого пересекая последние [Роговер, 1959; Sluzhenikin, Mokhov, 2015; и др.]. Интрузив слагают разные породы – от габбродиоритов до плагиоверлитов. С интрузивом ассоциируют массивные руды, а также вкрапленные – в интрузиве и прожилково-вкрапленные руды – в нижнем экзоконтакте. В верхней части интрузива расположено малосульфидное платиноидное оруденение [Служеникин и др., 1994]. Особенности петрографии, петрохимии и геохимии различных рудоносных пород интрузива Норильск-1 приведены нами по разрезу скважины МН-2 (рис. 1а). Интрузив сложен сверху вниз габбро-диоритами (обр. 51, 52), лейкогаббро с прослоями меланотроктолитов (обр. 54), габбро (обр. 53, 55, 56), оливин-

* Институт тектоники и геофизики ДВО РАН, г. Хабаровск

** Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва

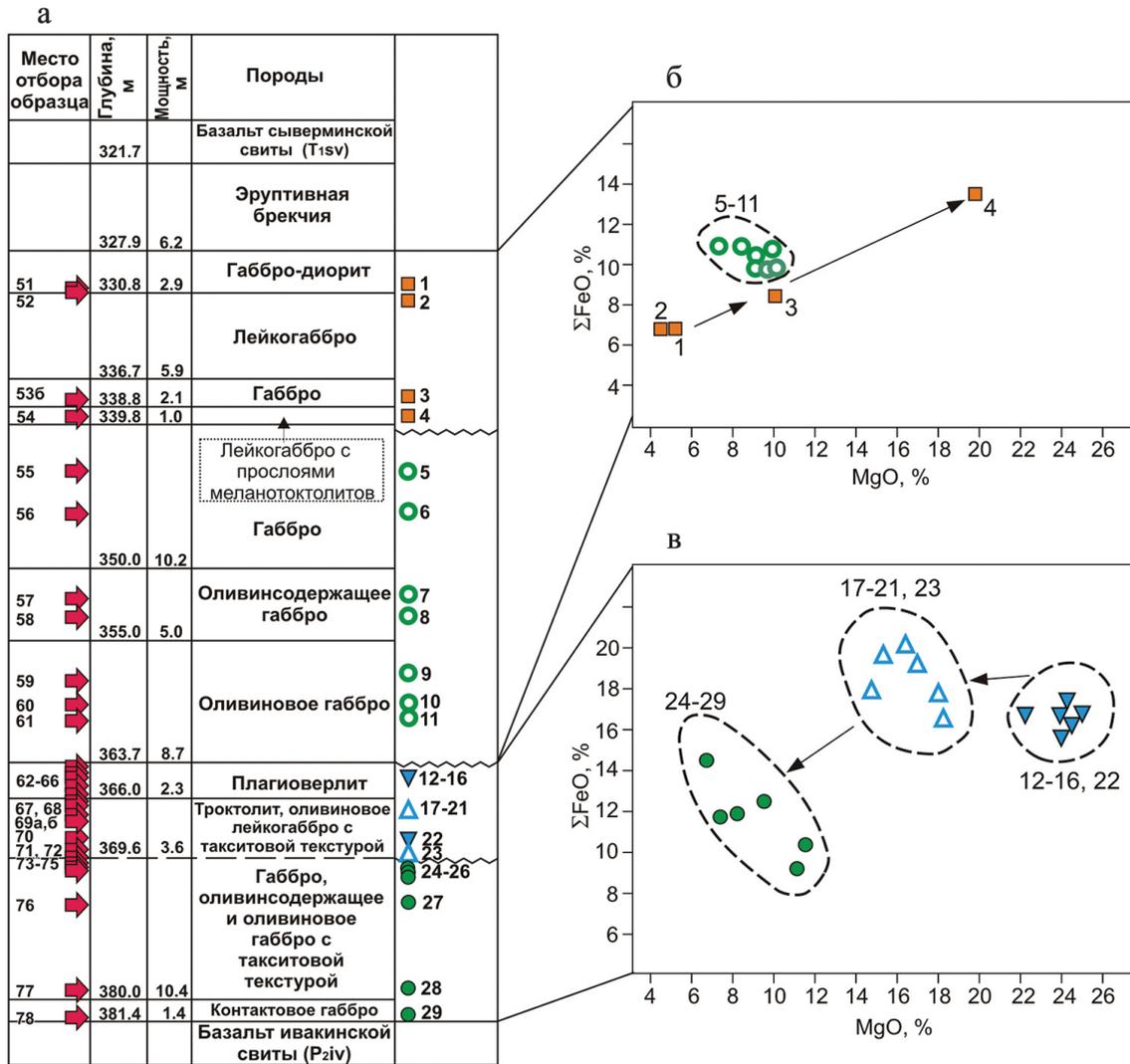


Рис. 1. Схема отбора образцов по разрезу интрузива Норильск-1 (а); бинарные диаграммы ΣFeO – MgO (мас. %) для пород верхней (б) и нижней (в) частей интрузива Норильск-1.

содержащим габбро (обр. 57, 58), оливиновым габбро (обр. 59–61), плагиоверлитами (обр. 62–66), ниже которых располагаются разновидности ультраосновных и основных пород с такситовой текстурой (обр. 67–77) и контактовые габбро-долериты (обр. 78).

Аналитические исследования выполнены в Центральной аналитической лаборатории ВСЕ-ГЕИ (г. Санкт-Петербург). Петрохимические составы пород определены рентгеноспектральным флуоресцентным методом (аналитик Б.А. Цимошенко), концентрация Ni, Cu и Cr – методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (АЭС-ИСП) (аналитик Э.Г. Червякова), содержание Pt и Pd – атомно-абсорбционным методом с полным кислотным вскрытием (аналитик Е.В. Тимашева), S – титриметрическим методом (аналитик В.Н. Тарасова). Для

устранения влияния степени серпентинизации все химические анализы были пересчитаны на 100% суммы петрогенных компонентов. Петрохимические и геохимические особенности пород приведены в табл. 1 и на рис. 1–4.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Габбро-диориты (глубины 327.9–330.8 м, обр. 51 и 52) обладают призматически зернистой структурой. Породы содержат 65–80% плагиоклаза, 10–30% клинопироксена. Плагиоклаз пелитизирован, клинопироксен амфиболлизирован. Среди рудных минералов установлены, магнетит, ильменит, пирит; в мезостазисе – амфибол, хлорит, мелкие зерна кварца. Габбро-диориты характеризуются высоким содержанием SiO_2 – 50.7–51.1 мас. % (см. рис. 2а), Al_2O_3 – 20.9–21.2 (см. рис. 2б), CaO –

Таблица 1. Содержание S, Pt, Pd, Cr, Ni и Cu в породах интрузива Норильск-1

№ п/п	№ обр.	Порода	S	Cr	Pt	Pd	Ni	Cu
			мас. %			г/т		
1	51	Габбро-диорит	0.20	0.035	<0.04	0.12	68	105
2	52	Габбро-диорит	0.50	0.013	0.05	0.11	153	261
3	53б	Габбро	0.55	0.10	1.68	4.32	872	1400
4	54	Меланотроктолит	0.64	0.044	7.88	25.10	2430	2290
5	55	Габбро	0.18	0.028	<0.04	0.06	75	97
6	56	Габбро	0.13	0.061	<0.04	0.03	112	64
7	57	Оливинсодержащее габбро	0.13	0.054	<0.04	0.05	150	81
8	58	Оливинсодержащее габбро	0.12	0.042	<0.04	<0.03	124	106
9	59	Оливиновое габбро	0.16	0.051	<0.04	0.04	134	72
10	60	Оливиновое габбро	0.16	0.041	<0.04	<0.03	165	83
11	61	Оливиновое габбро	0.16	0.036	<0.04	<0.03	172	84
12	62	Плагиоверлит	0.38	1.010	1.15	2.11	1050	1000
13	63	Плагиоверлит	0.64	0.650	1.24	2.41	1760	787
14	64	Плагиоверлит	0.65	1.320	0.97	1.84	1830	2020
15	65	Плагиоверлит	0.55	2.190	2.40	4.47	1530	1850
16	66	Плагиоверлит	1.09	2.120	2.02	3.46	2190	1030
17	67	Троктолит	0.87	4.540	4.94	8.43	2130	2700
18	68	Троктолит	0.89	5.790	6.71	13.30	2260	2630
19	69а	Оливинсодержащее лейкогаббро	1.28	5.850	9.80	23.50	2900	4410
20	69б	Оливинсодержащее лейкогаббро	1.18	5.880	8.14	11.60	2690	4240
21	70	Оливинсодержащее лейкогаббро	1.29	4.400	11.90	18.00	2860	4740
22	71	Плагиоверлит	0.32	0.088	0.49	1.31	1170	1190
23	72	Троктолит	2.18	0.170	3.85	12.00	5180	8590
24	73	Безоливиновое габбро	0.64	0.370	1.26	2.97	1200	2050
25	74	Клинопироксеновое лейкогаббро	1.66	0.075	2.81	7.64	3100	4700
26	75	Оливиновое габбро	0.15	0.019	0.12	0.16	421	509
27	76	Габбро	0.45	0.110	0.40	1.28	639	1250
28	77	Оливинсодержащее габбро	0.07	0.027	<0.04	0.16	82	125
29	78	Контактовое габбро	0.10	0.026	<0.04	0.16	162	306

10.3–10.5 (см. рис. 2в), Na₂O – 4.1–4.4 (см. рис. 2г), K₂O – 0.9–1.1; низким – MgO 4.7–5.0 (см. рис. 2), FeO_{общ} 6.6–6.7 мас. % (см. рис. 1б).

Лейкогаббро и *габбро* (гл. 330.8–350.0 м, обр. 53, 55, 56) имеют призматически зернистую структуру, с участками порфировидной, и характеризуются такситовой текстурой. На глубинах 338.8–339.8 м породы содержат шпириты меланотроктолитов (обр. 54), образующих горизонт мощностью до 1 м, к которому приурочено малосульфидное платиноидное оруденение с высоким содержанием платиноидов до 33 г/т (см. табл. 1). Характерной чертой меланотроктолитов является ксеноморфизм плагиоклаза по отношению к оливину и клинопироксену, что также свойственно ультрамафитам нижней части интрузива. По сравнению с вмещающими породами, которые содержат 44.3–47.8 мас. % SiO₂, 12.0–12.7 – CaO, 7.2–10.0 – MgO, 0.5–1.1 – TiO₂, 2.2–4.6 – Na₂O + K₂O, меланотроктолиты недосыщены SiO₂ (42.9 мас. %), имеют более низкие значения CaO (≈8.0 мас. %), TiO₂ (0.33) и Na₂O + K₂O (1.9 мас. %), но значительно более высокое содержание MgO (19.63 мас. %, см. рис. 1б, 2).

Оливинсодержащее и *оливиновое габбро* (гл. 350.0–363.7 м, обр. 57–61) имеют гипидио-

морфнозернистую, призматическизернистую, порфировидную, участками пойкилитовую неравномернозернистую структуру и такситовую текстуру. По химическому и минералогическому составу это типичные габброиды, состоящие на 55–70% из плагиоклаза, 20–30 – клинопироксена, 2–5% – оксидов (магнетита, титаномагнетита), иногда единичных зерен сульфидов (пирита, реже пирротина). Различаются эти породы содержанием оливина: в оливинсодержащих габбро до 5–8%, оливиновых – до 10–12%. Породообразующие минералы на 10–30% изменены: по плагиоклазу развиваются соссурит, пелит; по клинопироксену – амфибол, хлорит и др.; по оливину – боулингит. Химический состав пород характеризуется незначительными вариациями SiO₂ – 47.7–48.0 мас. %, Al₂O₃ – 16.7–17.6, CaO – 11.7–12.9 (см. рис. 2в), FeO_{общ} – 9.8–10.7 (см. рис. 1б), MgO – 8.2–9.9, Na₂O – 1.5–2.1, K₂O – 0.4–0.7 и Cr – 0.05–0.06 мас. % (см. табл. 1).

Ультраосновные породы (гл. 363.7–366.0 м, обр. 62–66) представлены плагиоверлитами, которые резко отличаются по структуре, минералогии и петрогеохимическому составу от вышележащих пород. Плагиоверлиты обладают панидиоморфнозернистой, пойкилитовой и (или) порфировидной

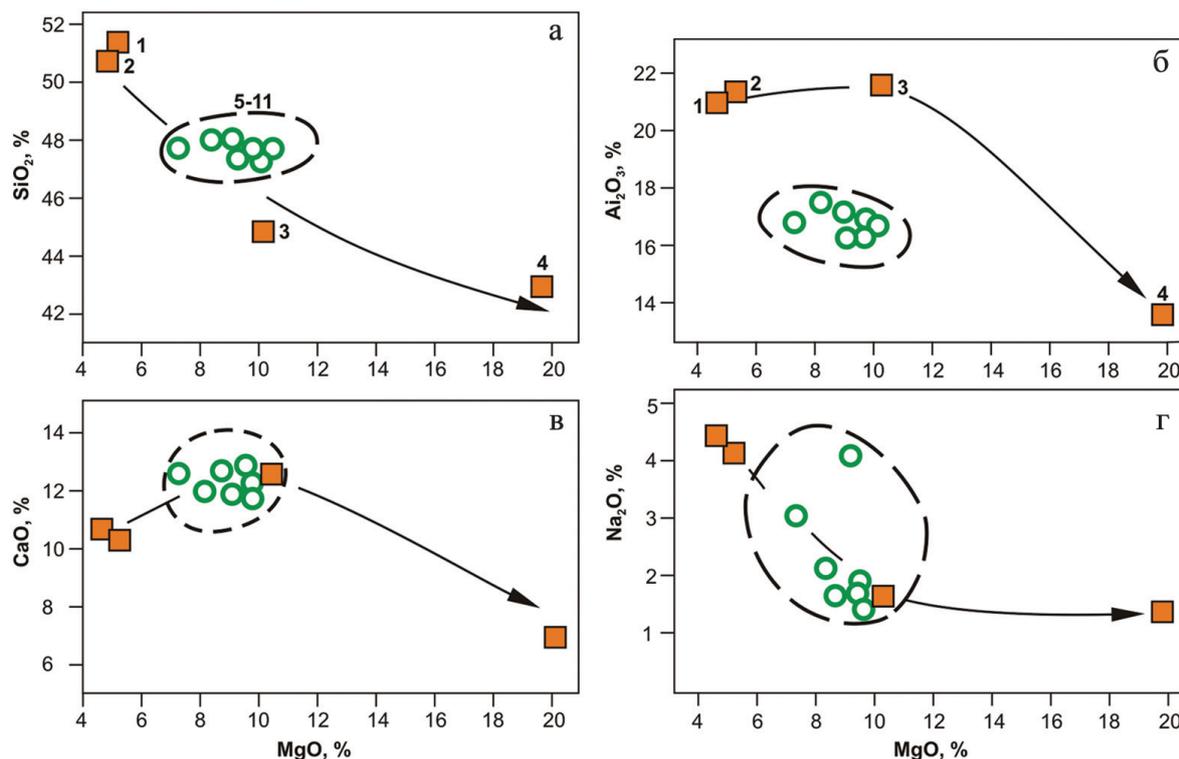


Рис. 2. Петрохимические вариации состава пород верхней части интрузива Норильск-1 на бинарных диаграммах SiO₂–MgO (а), Al₂O₃–MgO (б), CaO–MgO (в) и Na₂O–MgO (г).

структурами, характерными для ультрамафитов. Отличительной особенностью плагиоверлитов является присутствие идиоморфного феррихромиита (от 3 до 10%), ксеноморфного плагиоклаза (до 8–10) и вкрапленного сульфидного платиноидно-медно-никелевого оруденения (до 5%), с преобладанием пирротина, халькопирита и пентландита. Плагиоверлиты характеризуются повышенным количеством MgO – 22.0–24.8 мас. % – и более низким, чем в габброидах, содержанием SiO₂ – 40.6–42.6, CaO – 5.5–7.0, Al₂O₃ – 8.0–11.1, щелочей (при преобладании K₂O – 0.3–0.8 – над Na₂O – 0.2–0.4 мас. %) (см. рис. 1, 3). Плагиоверлитам свойственно (см. табл. 1) значимое количество серы (до 1.09 мас. %), никеля (до 0.22 мас. %), меди (до 0.27 мас. %), хрома (0.65–2.19 мас. %), платины (1.0–2.4 г/т), палладия (1.8–8.4 г/т).

Подстилающая плагиоверлиты пестрая по составу породная ассоциация сложена *троктолитами* с реликтами *плагиоверлитов*, а также *оливиновым лейкогаббро*, *оливиновым и оливинсодержащим габбро* (см. рис. 1, гл. 366.0–380.0 м, обр. 67–77). Данные породы обычно выделяются в составе так называемых “такситовых габбро-долеритов”, что не отражает их вещественного состава, лишь указывая на их текстурные особенности. В данном горизонте присутствуют породы близкие (по ряду признаков) плагиоверлитам, которые подверглись существенной габброизации. Такситовая тек-

стура возникла благодаря неравномерной перекристаллизации. Для пород характерны участки с гипидиоморфнозернистой, гломеропорфировой, габбровой, призматически зернистой или порфировидной структурами, иногда с реликтами панидиоморфнозернистой и пойкилитовой, свойственной плагиоверлитам. Размеры минералов варьируют от крупно- до мелкозернистых. В отличие от выше лежащих плагиоверлитов отмечается присутствие не менее двух генераций плагиоклаза и оливина. По химическому составу данные породы имеют неоднородный состав, мас. %: SiO₂ – 37.0–49.2 (см. рис. 3), Al₂O₃ – 8.0–20.8 (см. рис. 3б), FeO_{общ} – 9.0–19.8 (см. рис. 1в), CaO – 7.0–12.3 (см. рис. 3г), TiO₂ – 0.4–1.2. По сравнению с плагиоверлитами в этих породах уменьшается количество MgO – 7.4–18.0 мас. % (за исключением реликтового участка плагиоверлита на глубине ≈367 м с MgO в количестве 24.4 мас. %) и характерно более высокое содержание Al₂O₃, CaO и Na₂O за счет увеличения количества плагиоклаза и продуктов его изменения.

По петрохимическим и геохимическим параметрам породы с такситовой текстурой подразделяется на две дискретные группы (см. табл. 1; рис. 1, 3, 4). Для первой группы пород (гл. 366.3–369.6 м, обр. 67–72), подстилающей плагиоверлиты, типична недосыщенность SiO₂ – 37.0–42.7 мас. % (см. рис. 3), самое высокое количество FeO_{общ} – до 19.8 (см. рис. 1в), низкое – Na₂O – 0.4–0.7 (см. рис. 3в),

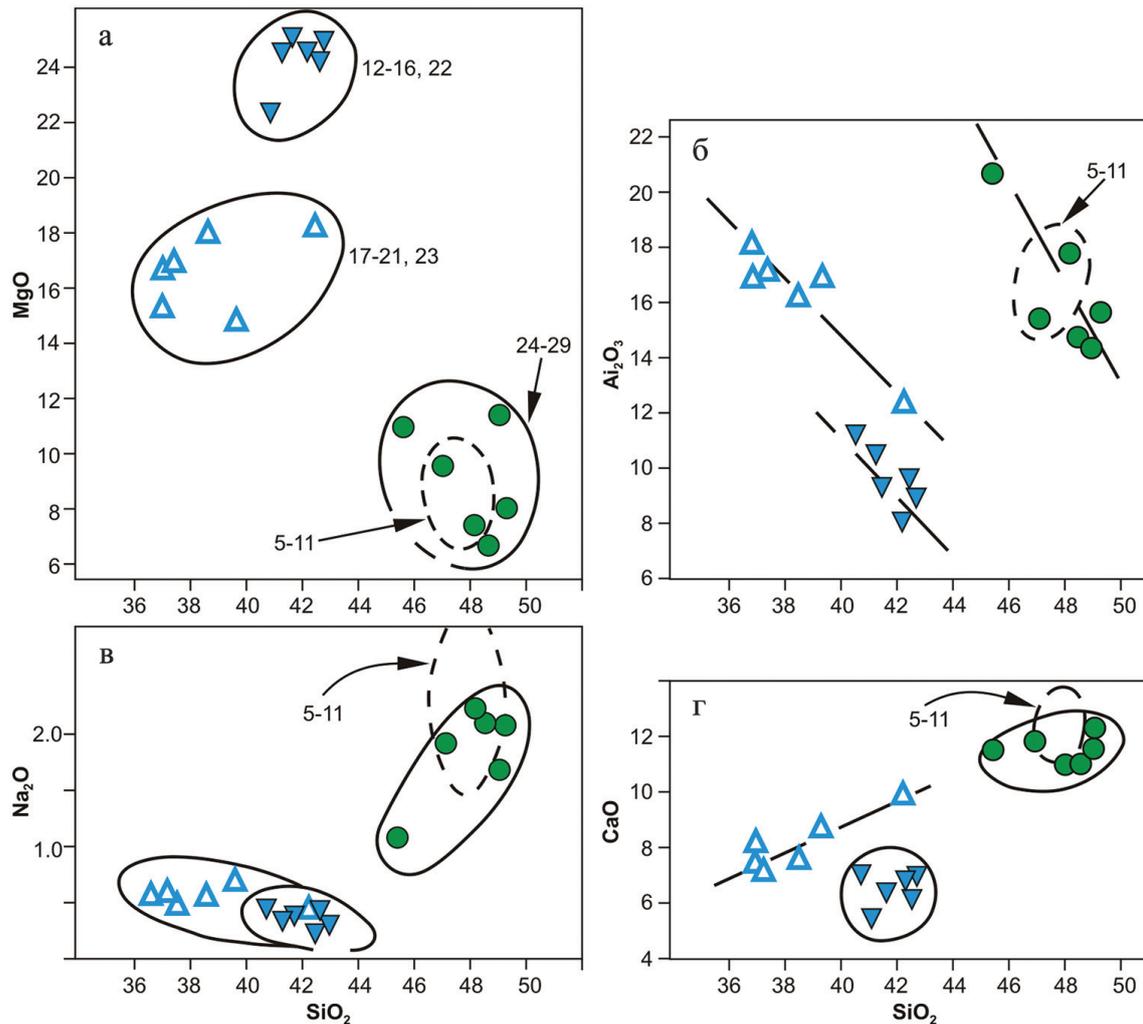


Рис. 3. Петрохимические вариации состава пород нижней части интрузива Норильск-1 на бинарных диаграммах MgO-SiO_2 (а), $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (б), $\text{Na}_2\text{O-SiO}_2$ (в) и CaO-SiO_2 (г).

Залитые треугольники – плагиоверлиты, полые треугольники – железистые ультрамафиты с такситовой текстурой, залитые круги – габброиды с такситовой текстурой.

K_2O – 0.41–0.91 мас. %. Характерно более высокое содержание хрома – 4.4–5.9 мас. %, чем в вышележающих плагиоверлитах (см. табл. 1), а также наибольшее для всего разреза интрузива (см. табл. 1, рис. 4) количество никеля (до 0.52 мас. %), меди (до 0.86 мас. %), серы (0.9–2.2 мас. %), платины (3.9–11.9 г/т) и палладия (11.6–23.5 г/т). Данная группа пород (гл. 366.0–369.6 м) наследует важные особенности плагиоверлитов, которые, вероятно, слагали их до изменения. Такими особенностями являются следующие: 1) высокое количество хрома (4.4–5.9 мас. %), что не характерно для габброидных горизонтов; 2) наличие в его пределах реликтов высокомагнезиальных плагиоверлитов (MgO до 24.4 мас. %); 3) наибольшие количества рудных элементов (меди, никеля, кобальта, платины, палладия и серы), что свойственно ультрамафитам интрузивов талнахско-норильского типа. Сульфиды

сопровождаются биотитом и другими водосодержащими минералами, характерными для плагиоверлитов.

Для второй группы пород с такситовой текстурой (см. рис. 1, гл. 369.7–379.2 м, обр. 73–77) содержание компонентов изменяется в следующих пределах, мас. %: SiO_2 – 45.5–49.2 (см. рис. 3), Al_2O_3 – 14.3–20.8 (см. рис. 3б), $\text{FeO}_{\text{общ}}$ – 9.0–12.3 (см. рис. 1в), TiO_2 – 0.43–1.21, MgO – 7.4–11.3, CaO – 11.0–12.3 (см. рис. 3г), Na_2O – 1.1–2.2 (см. рис. 3в), K_2O – 0.23–0.53. В отличие от вышележающих “такситовых” пород первой группы количество хрома понижается на 2–3 порядка (0.019–0.110 мас. %), а содержание серы, меди, никеля и платиноидов широко варьирует (серы – 0.07–2.18 мас. %, меди – 125–4700 г/т, никеля – 82–3100 г/т, платины – от <0.04 до 2.81 г/т, палладия – 0.16–7.64 г/т (см. табл. 1)).

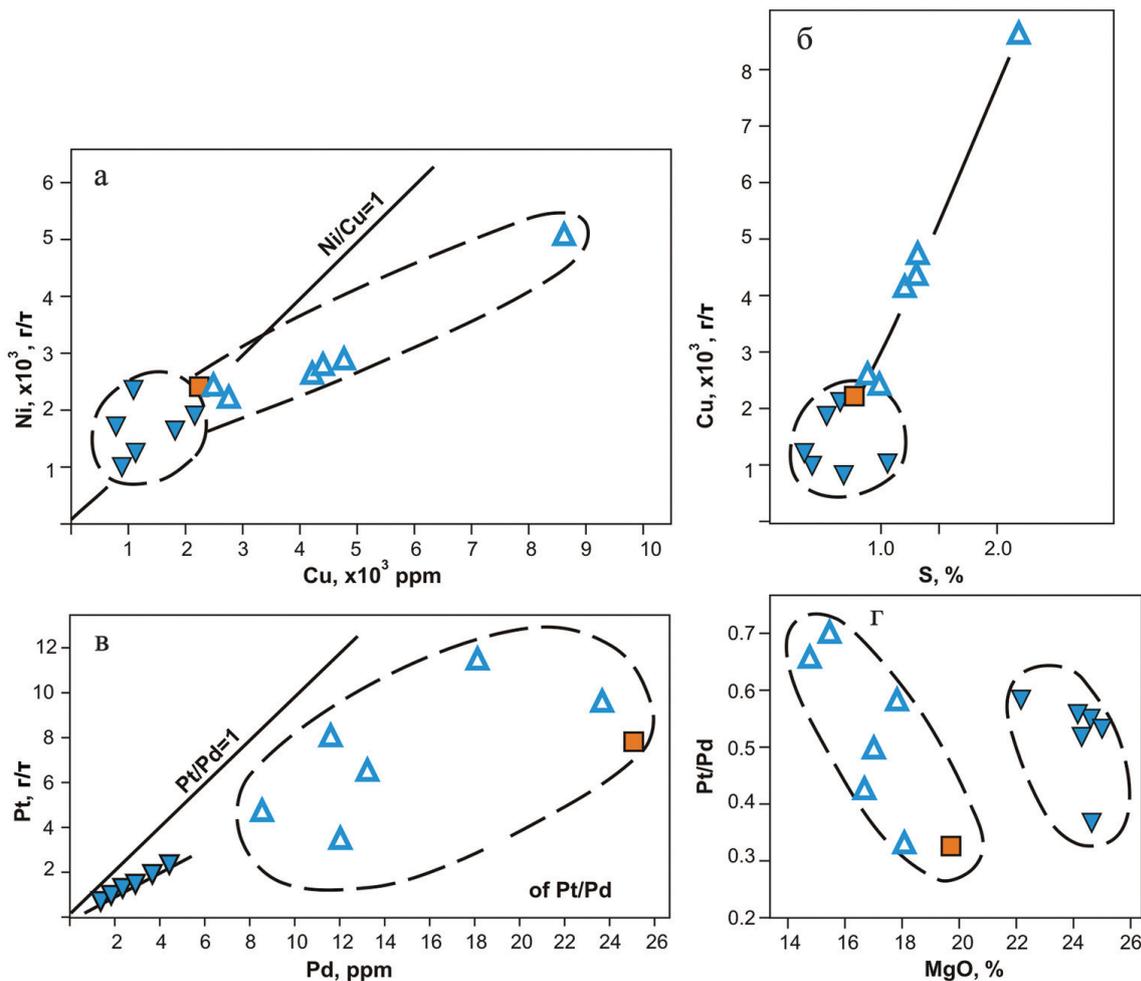


Рис. 4. Вариации рудных компонентов в магниальных и железистых ультрамафитах интрузива Норильск-1 на бинарных диаграммах Ni × 1000–Cu × 1000 (а), Cu × 1000–S (б), Pt–Pd (в), Pt/Pd–MgO (г).

Залитые треугольники – плагиоверлиты; полые треугольники – железистые ультрамафиты с такситовой текстурой; квадрат – меланотроктолиты верхней части интрузива.

Породы контактовой части интрузива (см. рис. 1, обр. 78) близки по химическому составу обычным габброидам (см. рис. 1в, 3), содержат незначительное количество серы (0.096 мас. %), никеля (162 г/т), меди (306 г/т) и палладия (0.16 г/т) (см. табл. 1).

Особенности состава пород в координатах FeO–MgO показаны на рис. 1. Распределение фигуративных точек составов имеет отчетливо дискретный характер с выделением габброидной группы и двух групп магниальных и железистых ультрамафитов (показаны на рис. 1 залитыми и полыми треугольниками). При анализе особенностей петрохимических вариаций для пород верхней части интрузива (см. рис. 2) устанавливается различие между габбро-диоритами, габброидами расслоенной серии (габбро, оливинсодержащего и оливинового габбро) и породами, вмещающими малосульфидный горизонт. Различия пород в нижней части ин-

трузива (плагиоверлитов, железистых ультрамафитов и габброидов с такситовой текстурой) отражено на бинарных диаграммах MgO–SiO₂, Al₂O₃–SiO₂, Na₂O–SiO₂ и CaO–SiO₂ (см. рис. 3), где они образуют дискретные поля составов.

Вариации состава в верхней части интрузива отвечают определенному циклу. В ряду пород (обр. 51, 52 – 53 – 54) направленно возрастает содержание железа и магния, которое уменьшается с появлением габброидов расслоенной серии (обр. 55–61, см. рис. 1б). Меланотроктолиты, вмещающие малосульфидный платиноидный горизонт (обр. 54, см. рис. 1а), расположены в центре вариационного цикла. По мнению А.А. Степашко, габброиды расслоенной серии (обр. 55–59), завершая верхнюю часть разреза, одновременно начинают следующий цикл (см. рис. 1б, в): оливиновое габбро (обр. 60, 61) – магниальные ультрамафиты (обр. 62–66) – железистые ультрамафиты (обр. 67–

72) – габброиды (обр. 73–77). Таким образом, в разрезе интрузива Норильск-1 выделяются две части, для которых перераспределение вещества происходило, по-видимому, по близкой вариационной схеме. В каждой части интрузива сверху вниз фиксируется сначала увеличение железа и магния, сменяющееся по разрезу общим уменьшением содержания этих компонентов (см. рис. 1). Первый вариационный цикл на разрезе скважины МН-2 отвечает интервалу 330–360 м. В оливиновом габбро интервала 355–363 м происходит переход от первого цикла ко второму. Мощность второго – порядка 20 м (интервал \approx 360–380 м). Вероятно, что появление магнезиальных пород в центре двух частей разреза является следствием петрохимической цикличности. Таких пород намного больше в пределах нижней части, что сдвигает ее средний состав в область более высокого содержания железа и магния по сравнению со средним составом верхней части интрузива.

Различие двух частей разреза можно объяснить смешением двух самостоятельных магм в одном резервуаре. Однако возможна и другая гипотеза, предусматривающая длительную эволюцию магматической системы (десятки миллионов лет [Малич и др., 2010, 2012]) с постепенным обогащением расплавов железом и магнием (элементами с максимальной плотностью) в промежуточном магматическом резервуаре. Разделение оказалось столь значительным, что процессы последующего перераспределения компонентов в магме проходили независимо в верхней и нижней частях резервуара. Представляется, что наблюдаемые вариации рудных компонентов (см. рис. 4) связаны с двумя процессами. Первоначально произошло общее обогащение никелем, медью и платиноидами нижней части интрузива Норильск-1. Характерно, что содержания никеля и меди в магнезиальных и железистых ультрамафитах (см. табл. 1; рис. 1, 4) последовательно увеличиваются вниз по разрезу (обр. 62, 63–64, 65, 66–67, 68–69, 70–72), достигая максимальных значений в железистых ультрамафитах. Образование железистых ультрамафитов, включая концентрирование рудных компонентов, по-видимому, произошло на второй стадии.

ВЫВОДЫ

1. С петрохимической точки зрения разрез интрузива Норильск-1 состоит из двух частей. Для каждой характерны закономерное изменение состава, наличие ультрамафитов в центральной части и габброидов по периферии.

2. В верхней части интрузива располагается маломощный горизонт лейкогаббро, содержащий малосульфидное оруденение (с платиноидами), которое ассоциирует с такситизированными меланокроколитами.

3. Отмечаются близкие содержания платиноидов в породах нижнего сульфидоносного и верхнего малосульфидного горизонтов, составляющие в сумме >30 г/т. Состав нижней части интрузива значительно обогащен железом и магнием, что, вероятно, предполагает их перераспределение в процессе длительной эволюции магматического расплава.

4. Образование породных ассоциаций интрузива Норильск-1 обусловлено следующими причинами: 1) гравитационной дифференциацией, 2) перераспределением рудных компонентов при образовании железистых ультрамафитов.

5. Максимальная продуктивность железистых ультрамафитов характерна для верхней и нижней частей интрузива Норильск-1.

6. Петрохимические и геохимические данные могут быть эффективно использованы для обнаружения рудоносных пород данного типа в слабо изученных ультрамафит-мафитовых интрузивах Полярной Сибири.

Авторы признательны Е.В. Аникиной за ценные замечания, способствовавшие улучшению рукописи.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИГГ УрО РАН (№ государственной регистрации АААА-Ф18-118052590026-5) при поддержке РФФИ № 18-05-70073-Ресурсы Арктики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Геология и полезные ископаемые России. Т. 3. Восточная Сибирь / ред.: Н.С. Малич, Е.П. Миرونюк, Е.В. Туганова. СПб.: ВСЕГЕИ, 2002. 396 с.
- Годлевский М.Н. Траппы и рудоносные интрузии Норильского района. М.: Гостехметиздат, 1959. 68 с.
- Дистлер В.В., Гроховская Т.Л., Евстигнеева Т.Л., Служеникин С.Ф., Филимонова А.А., Дюжиков О.А., Лапутина И.П. Петрология сульфидного магматического рудообразования. М.: Наука, 1988. 232 с.
- Золотухин В.В., Рябов В.В., Васильев Ю.Р., Шатков В.А. Петрология Талнахской рудоносной дифференцированной трапповой интрузии. Новосибирск: Наука, 1975. 432 с.
- Кривошук Н.А. Эволюция траппового магматизма и Pt-Cu-Ni рудообразование в Норильском районе. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 305 с.
- Лихачев А.П. Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. М.: Эслан, 2006. 496 с.
- Малич К.Н., Баданина И.Ю., Белоусова Е.А., Туганова Е.В. U-Pb результаты датирования циркона и бадделеита ультрамафит-мафитового интрузива Норильск-1 (Россия) // Геология и геофизика. 2012. Т. 53, № 2. С. 163–172.
- Малич К.Н., Баданина И.Ю., Туганова Е.В. Магматическая эволюция ультрамафит-мафитовых интрузивов Норильской провинции (Россия): вещественные и геохронологические данные // Литосфера. 2010. № 5. С. 37–63.
- Роговер Г.Б. Месторождение Норильск-1. М.: Госгеолтехиздат, 1959. 168 с.

- Рябов В.В., Шевко А.Я., Гора М.П. Магматические образования Норильского района. Т. 1. Петрология траппов. Новосибирск: Нонапрель, 2000. 408 с.
- Служеникин С.Ф., Дистлер В.В., Дюжиков О.А., Кравцов В.Ф., Кунилов В.Е., Лапутина И.П., Туровцев Д.М. Малосульфидное платиновое оруденение в норильских дифференцированных интрузивах // Геология рудных месторождений. 1994. Т. 36, № 3. С. 195–217.
- Туганова Е.В. Формационные типы, генезис и закономерности размещения сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 102 с.
- Dyuzhikov O.A., Distler V.V., Strunin B.M., Mkrtychyan A.K., Sherman M.L., Sluzhenikin S.F., Lurye A.M. Geology and metallogeny of sulfide deposits of the Noril'sk region, USSR. Soc. Economic Geologists Spec. Publ. 1. 1992. 242 p.
- Malitch K.N., Belousova E.A., Griffin W.L., Badanina I.Yu., Latypov R.S., Sluzhenikin S.F. New insights on the origin of ultramafic-mafic intrusions and associated Ni-Cu-PGE sulfide deposits of the Noril'sk and Taimyr provinces, Russia: evidence from radiogenic- and stable-isotope data // Processes and ore deposits of ultramafic-mafic magmas through space and time / ed. by S. Mondal, W.L. Griffin. Amsterdam: Elsevier Inc., 2017. P. 197–238. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811159-8.00008-1>.
- Naldrett A.J. Magmatic sulfide deposits. Berlin; Heidelberg: Springer, 2004. 727 p.
- Sluzhenikin S.F., Mokhov A.V. Gold and silver in PGE-Cu-Ni and PGE ores of the Noril'sk deposits, Russia // Mineralium Deposita. 2015. V. 50. P. 465–492.
- Starostin V.I., Sorokhtin O.G. A new assessment of the Noril'sk-type deposits origin // Moscow University Geol. Bull. 2011. V. 66, no. 2. P. 73–83.