

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД И РУД МАСЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (НОРИЛЬСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН)

Н.А. Криволицкая*, Б.И. Гонгальский**, Н.М. Свирская*

* Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва

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

Введение

Одна из крупнейших в мире Норильская провинция включает в себя практически непрерывный ряд разномасштабных месторождений платиноидов и никеля [6] – от уникальных (Норильск 1, Талнахское, Октябрьское) и крупных по запасам (Черногорское, Вологочанское) до средних и мелких (Норильск 2, Большая Барьерная и т.д.). Среди промышленно значимых объектов особый интерес представляет Масловское месторождение, которое активно разведывается в последние годы ООО «Норильскгеология». Месторождение располагается к югу от Норильска 1 (рис. 1). По мнению ряда исследователей, руды его локализованы в юго-западной части массива Норильск 1. По положению в средней части туфо-лаваовой толщи, специфическим особенностям интрузивных пород, а также составу руд Масловское месторождение отличается от остальных объектов района, что позволяет на его примере решать различные вопросы, связанные с генезисом оруденения. Проведенные авторами исследования касались изучения химического и минерального состава магматических пород, в которых сконцентрированы сульфидные минералы, а также определения химического состава последних.

Для детального исследования авторами были выбраны две опорные скважины (ОМ-4 и ОМ-24), вскрывающие интрузивные породы максимальной мощности в северной и южной частях месторождения соответственно. Состав пород изучался с помощью LA-ICP-MS в Институте химии им. Макса Планка (г. Майнц, Германия), а состав породообразующих и рудных минералов определялся с помощью микрозонда JXA 8200 там же и SX 100 Cameca в ГЕОХИ РАН (аналитик Н.Н. Кононкова). Анализ проводился при токе зонда 20 нА, укоряющем напряжении 15 кВ, в качестве эталонов использовались как чистые металлы, так и синтетические фазы с известными содержаниями элементов.

Краткие сведения о геологическом строении района и месторождения

На современной денудационной поверхности Норильского района обнажаются терригенно-карбонатные и угленосные отложения силура-перми и вулканогенные образования раннего триаса. Первые выходят на поверхность в пределах крупных антиклинальных структур – Дудинского и Хантайско-Рыбнинского валов, а последние выполняют центральные части Хараелахской, Норильской и Вологочанской мульды и западную часть Тунгусской синеклизы (рис. 1). Крупнейшие эксплуатируемые месторождения со сплошными рудами располагаются в краевых частях Хараелахской и Норильской и мульды, причем в пределах последней локализуются более мелкие месторождения, в которых наряду с вкрапленным оруденением в подошве интрузивных тел устанавливаются многочисленные мелкие жилы мощностью первые метры. Именно к таким объектам относится Масловское месторождение. Оно располагается к югу от месторождения Норильск 1 и обычно рассматривается в качестве его глубоководной (на 400-800 м от поверхности) Ю-З ветви. Однако строение интрузивного тела оказывается при рассмотрении более сложным; оно состоит из двух разных магматических тел. Протяженность интрузивных образований на месторождении составляет 6 км, а ширина варьирует от 1 до 3,5 км, мощность резко колеблется: в воронкообразных частях массивов она достигает 400 м, и резко сокращается к периферии до 10 м вплоть до полного выклинивания (см. рис. 1), что установлено на основании геофизических данных и результатов бурения.

Интрузивные тела северной и южной частей месторождения занимают различное стратиграфическое положение в разрезе вмещающих пород, среди которых преобладают вулканиты трапповой формации. Подразделение последних на свиты (ивакинскую, сыверминскую, гудчихинскую, хақанчанскую, туклонскую, надеждинскую

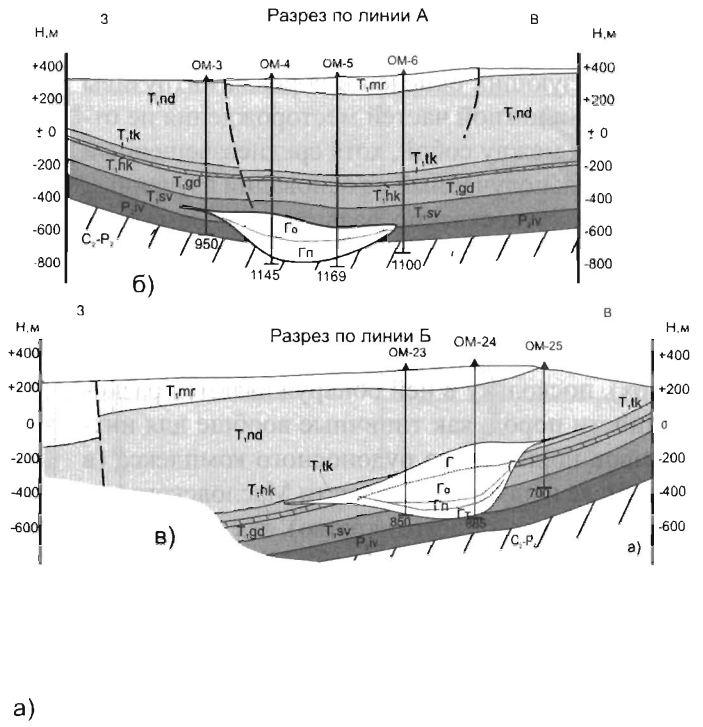


Рис. 1. Схема геологического строения района (а) и разрезы (б, в) Масловского месторождения (по [9] и материалам ООО «Норильскгеология»)

Интрузивные породы норильского комплекса: Г – габбро, габбро-долериты, Г_о – оливиновые габбро-долериты, Г_п – пикритовые габбро-долериты, Г_т – такситовые габбро-долериты, F – феррогаббро; базальты, свиты: T_{1 mr} – моронговская, T_{1 nd} – надеждинская, T_{1 tk} – туклонская, T_{1 hk} – хаканчанская, T_{1 gd} – гудчихинская, T_{1 sv} – сыверминская, P₂ – T₁ – ивакинская; C₂ – P₁ – терригенные породы тунгусской серии; OM-4 – скважины и их номера

и моронговскую, общей мощностью 1000 м) в пределах месторождения было выполнено нами ранее [5] по скв. OM-6 на основании текстурно-структурных и геохимических особенностей пород [3, 9, 11]. В результате бурения и проведенных исследований установлено, что северное интрузивное тело залегает среди терригенно-угленосных пород тунгусской серии (C₂-P₁) и нижних свит туфо-лаваовой толщи – трахибазальтов ивакинской и голейтовых базальтов сыверминской свит на глубине 832-1100 м от поверхности, в то время как южное интрузивное тело прорывает базальты сыверминской-надеждинской свит на глубине 458-870 м.

Внутренне строение и петрография пород.

В строении северного интрузива (рис. 2а) принимают участие (снизу вверх): оливиновые, пикритоподобные, пикритовые габбро-долериты и троктолиты, оливиновые и оливинсодержащие габбро-долериты, габбро-диориты. Характерной особенностью этой части разреза является большая мощность пикритовых габбро-долеритов и отсутствие типичных для рудоносных интрузивов такситовых разновидностей пород. В результате в разрезе доминируют высокомагнезиальные

габбро-долериты, составляя две трети от его мощности. Южное интрузивное тело отличается от северного принципиально иным внутренним строением (см. рис. 2б). Пикритовые габбро-долериты обладают очень незначительной мощностью (около 15 м), в то время как мощность такситовых габбро-долеритов в нижней части интрузива составляет 50 м. Большая часть разреза сложена оливинсодержащими и безоливиновыми габбро с повышенным содержанием железных оксидов – титаномагнетита и магнетита, особенно в верхней части массива.

Неоднородное внутреннее строение интрузивных тел подчеркивается распределением главных породообразующих окислов по приведенным разрезам (см. рис. 2). Для южной части месторождения характерно плавное увеличение магнетиальности пород сверху вниз по разрезу, в то время как в северной части оно происходит резко, скачкообразно. В целом породы относятся к низкотитанистым разновидностям (TiO₂ < 1 мас. %), исключая отмеченные феррогаббро из южной части, где концентрации титана достигают 2 % (табл. 1). Они принадлежат к нормальному ряду железистых габброидов, в котором сумма щело-

чей не превышает 5 мас. %, причем натрий доминирует над калием. По содержанию главных породообразующих окислов в породах интрузивы северной и южной частей месторождения не отличаются между собой, хотя средневзвешенный состав тел, полученный на основании изученных разрезов, существенно различается. Заметные различия установлены по элементам-примесям, особенно по Ta/Nb отношению [10].

Детальная петрографическая характеристика пород дается на примере скв. ОМ-24 (снизу вверх), поскольку в ней обнаруживаются разновидности пород, как типичные вообще для интрузивов норильского рудоносного комплекса (в том числе и для северной части Масловского месторождения – описаны кратко), так и характерные только для данного массива (дается расширенное описание).

Контактные габбро-долериты представляют собой массивные равномернозернистые мелко-, иногда среднекристаллические породы, состоящие из плагиоклаза (An_{67-65}) и клинопироксена ($Mg\# 72-74$) примерно в равных количествах, содержащих иногда до 10 % оливина (Fo_{66-62}). В *такситовых* габбро-долеритах плагиоклаз An_{80-68} (до 60 %) преобладает над пироксеном, а содержание оливина Fo_{72-65} достигает 15%; их характерной особенностью является атакситовая текстура: на фоне неравномернокристаллических лейкократовых пород обособляются участки меланократового состава, часто более мелкокристаллические, обогащенные оливином. Содержание сульфидов может составлять 20 % от объема породы; они образуют неправильные интерстициальные выделения, сложенные халькопирит-пирротинным агрегатом, достигающие 4 см в диаметре. *Пикритовые* габбро-долериты представляют собой массивные, иногда тонкополосчатые, мелко-среднекристаллические породы, состоящие из (об. %): оливина (табл. 2) Fo_{80-78} (50-70), плагиоклаза An_{78-72} (20-25), клино- и ортопироксена (15-20 и 3-4 % соответственно, $Mg\# 80-84$), магнетита (5) с содержанием хрома до 4% и сульфидов (в среднем 5-10, иногда до 15%). Оливин представлен как крупными (до 3 мм) субидiomорфными кристаллами, так и мелкими и средними округлыми зернами (0,1-0,2 - 0,3-0,5 мм). Сульфиды образуют либо вкрапленники до 2 см, либо мелкие интерстициальные обособления среди породообразующих минералов (2-5 мм), либо тонкие прожилки (3-6 мм). Оливины пикритовых габбро-долеритов северной и южной частей месторождения значимо отличаются друг от друга по

содержаниям никеля и марганца (рис. 3).

Несомненный интерес представляют собой породы, формирующие верхнюю часть южного интрузивного тела. До настоящего времени подобные разновидности не были описаны в Норильском районе. Характерной их особенностью является наличие стекла (до 15 %), в котором располагаются порфиновые вкрапленники удлиненных таблитчатых кристаллов плагиоклаза и короткопризматических кристаллов пироксена, иногда субидiomорфного оливина. По составу породы отвечают габброидам нормального ряда. Присутствие стекла в верхних контактных зонах массивов в Норильском районе было описано ранее, например, в Талнахском интрузиве [3], однако эти зоны имели небольшую (первые метры) мощность. В разрезе скв. ОМ-24 характеризуемые породы слагают горизонт около 150 м. Истинная мощность их неизвестна, но о ней можно судить на основании факта обнаружения этих пород в скв. ОМ-23, расположенной в 400 м к западу от скв. ОМ-24: истинная мощность их составляет не менее 100 м. В верхней части в породах много магнетита, который образует скелетные или дендритовидные кристаллы (рис. 4). Отличительной особенностью трех главных породообразующих минералов (пироксена, плагиоклаза и оливина) является их отчетливое зональное строение, обилие крупных стекловатых включений (до 60 мкм), в которых нередко также присутствует магнетит (см. рис. 4а). Все перечисленные выше признаки – наличие стекла, дендритовидные формы выделений магнетита, расплавные стекловатые включения – свидетельствуют о чрезвычайно быстрой кристаллизации этих пород. Количество стекла и включений в минералах по направлению к верхнему контакту постепенно увеличивается. При этом состав минералов (в частности, пироксенов, табл. 3) сопоставим с таковым из обычных раскристаллизованных разновидностей соответствующих горизонтов северного интрузивного тела Масловского месторождения.

Сульфидные руды. Сульфидная минерализация приурочена к нижней части интрузивных тел, она представлена вкрапленностью и тонкими (менее 1 см мощностью) прожилками пентландит-пирротин-халькопиритового состава в такситовых и пикритовых горизонтах и жилами халькопирита на контакте интрузивов с вмещающими породами, мощность которых достигает 1 м.

Наибольший интерес из изученных сульфидных минералов представляет пентландит, поскольку состав его существенно варьирует. При

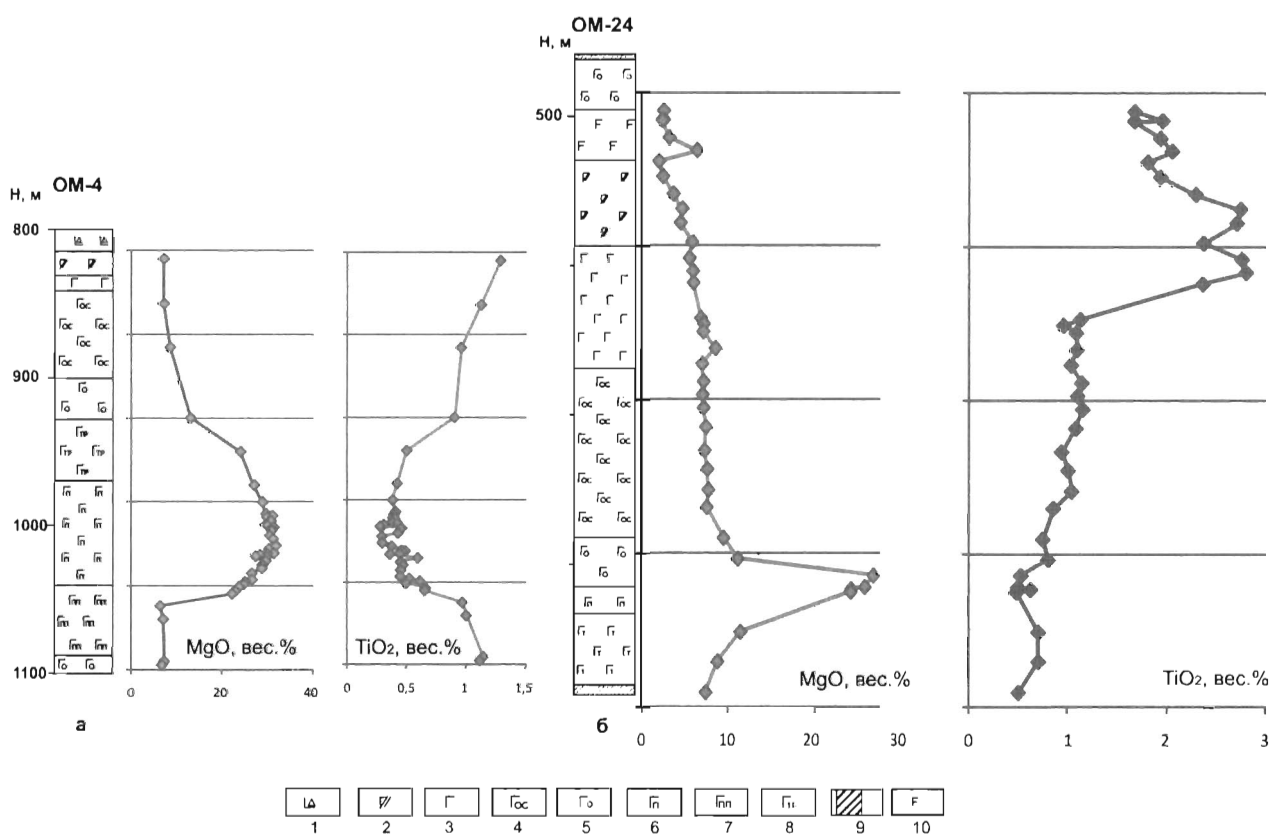


Рис. 2. Стрoение интрузивов северной (а) и южной (б) частей Масловского месторождения и распределение в породах MgO и TiO₂

1 - магматические брекчии, 2 - габбро-диориты, 3-8 - габбро-долериты: 3 - безоливиновые, 4 - оливинсодержащие, 5 - оливиновые, 6 - пикритовые, 7 - пикритоподобные; 8 - троктолиты, 9 - контактовые габбро-долериты, 10 - феррогаббро. Распределение окислов по [10]

рассмотрении его составов обращают на себя внимание существование двух разных членов изоморфного ряда - с примерно равным содержанием Fe и Ni в минерале (FeO - 34, Ni - 33 мас.%) и с резким доминированием Ni (FeO - 24, Ni - 42 мас.%). Другим интересным аспектом химического состава пентландитов является распределения в нем Co. В изученных образцах вкрапленных руд Масловского месторождения установлены низкие концентрации этого металла в минерале, как правило, не превышающие 1 мас. %. Обычно его содержания в пентландитах норильских месторождений несколько выше и составляют 2-3 мас. % (Генкин и др., 1981). Обращает на себя внимание также постоянное присутствие Cu в пентландите, иногда достигающее весьма существенных значений - свыше 3 мас. %. Повышенные значения содержаний этого металла типичны для отмеченных выше высоконикелистых пентландитов.

Пирротин варьирует по составу незначительно, концентрации Fe меняются в нем в пределах 60-62 мас.%, а S - 37-38 мас.%. Наибо-

лее типичной примесью в пирротине является Ni. Он постоянно присутствует в изученных зернах этого минерала из вкрапленных руд Масловского месторождения. Максимальные его концентрации установлены для троилита - 2,65 мас. %. Концентрации Co в пирротинах низки, как правило, они не превышают 0,14 мас. %. Примесь Cu не типична для пирротинов вообще, она отмечается только в ближайшей зоне контакта пирротина с халькопиритом.

Халькопирит является минералом исключительно стабильного состава, соотношения в нем главных элементов - S, Cu и Fe - практически постоянны. Для него типична полная «стерильность» по сравнению с другими рудными минералами в отношении элементов-примесей. Последние устанавливаются только с помощью специально разработанных методик определения на микрозонде или лазерной абляции. Минерал постоянно содержит в своем составе Sb и As на уровне сотен граммов на тонну. Однако никаких закономерностей распределения этих элементов ни в халькопритах разных типов руд и разных

Состав интрузивных пород Масловского месторождения

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8
№ обр.	OM-4/854.8	OM-4/1000	OM-4/1017	OM-4/1028.5	OM-4/1035	OM-4/1053.1	OM-4/1017	OM-4/1028.5
SiO ₂	47.95	42.19	42.46	41.43	42.83	45.02	42.46	41.43
TiO ₂	1.29	0.38	0.46	0.37	0.59	0.66	0.46	0.37
Al ₂ O ₃	13.52	6.59	5.72	5.66	5.89	8.85	5.72	5.66
FeO	11.51	15.83	16.07	16.62	16.07	14.10	16.07	16.62
MnO	0.76	0.24	0.22	0.23	0.24	0.23	0.22	0.23
MgO	7.11	28.84	30.81	30.22	29.54	22.86	30.81	30.22
CaO	11.72	4.62	3.98	4.47	4.74	6.71	3.98	4.47
Na ₂ O	2.64	0.57	0.46	0.23	0.52	0.70	0.46	0.23
K ₂ O	0.64	0.20	0.25	0.34	0.18	0.39	0.25	0.34
P ₂ O ₅	0.15	0.06	0.04	0.03	0.06	0.08	0.04	0.03
Сумма	97.30	99.51	100.48	99.62	100.66	99.60	100.48	99.62
Rb	20.61	6.2	8.1	11.1	5.0	15.9	8.1	11.1
Ba	261	91	88	63	59	106	88	63
Th	1.12	0.31	0.39	0.30	0.39	0.67	0.39	0.30
U	0.62	0.12	0.17	0.10	0.13	0.19	0.17	0.10
Nb	4.99	1.25	1.58	1.43	1.72	2.34	1.58	1.43
Ta	0.32	0.09	0.11	0.13	0.12	0.15	0.11	0.13
La	8.60	2.39	3.04	1.88	2.08	4.01	3.04	1.88
Ce	19.09	5.46	6.66	4.48	5.05	9.37	6.66	4.48
Pb	n/a	2.43	3.41	0.22	0.20	1.55	3.41	0.22
Pr	2.59	0.75	0.87	0.63	0.71	1.28	0.87	0.63
Nd	12.20	3.50	4.01	3.01	3.49	6.06	4.01	3.01
Sr	297	100	100	102	101	167	100	102
Sm	3.34	0.98	1.08	0.86	1.00	1.75	1.08	0.86
Zr	94.56	29.9	29.2	28.4	32.0	52.0	29.2	28.4
Hf	2.38	0.78	0.77	0.73	0.85	1.36	0.77	0.73
Eu	1.24	0.39	0.42	0.25	0.29	0.52	0.42	0.25
Ti	7481	2340	2702	2203	2744	3995	2702	2203
Gd	3.99	1.20	1.31	1.08	1.30	2.17	1.31	1.08
Tb	0.65	0.20	0.22	0.18	0.23	0.36	0.22	0.18
Dy	4.40	1.34	1.47	1.25	1.54	2.43	1.47	1.25
Ho	0.90	0.28	0.30	0.26	0.32	0.51	0.30	0.26
Y	22.7	7.7	8.2	7.2	8.6	14.0	8.2	7.2
Er	2.57	0.81	0.89	0.77	0.96	1.50	0.89	0.77
Tm	0.35	0.12	0.13	0.12	0.14	0.21	0.13	0.12
Yb	2.37	0.79	0.88	0.82	0.96	1.45	0.88	0.82
Lu	0.36	0.12	0.13	0.12	0.15	0.22	0.13	0.12
№ п/п	9	10	11	12	13	14	15	16
№ обр.	OM-4/1035	OM-4/1053.1	OM-24/518.2	OM-24/554.6	OM-24/655.8	OM-24/705.4	OM-24/745.1	OM-24/823
SiO ₂	42,83	45,02	58,82	54,76	51,27	50,31	50,08	42,75
TiO ₂	0,59	0,66	1,67	1,93	1,08	1,15	1,00	0,62
Al ₂ O ₃	5,89	8,85	12,58	13,13	13,76	15,04	15,83	8,67
FeO	16,07	14,10	13,99	16,18	11,00	10,73	9,65	14,59
MnO	0,24	0,23	0,22	0,27	0,20	0,16	0,16	0,26
MgO	29,54	22,86	2,35	2,41	7,17	7,21	7,65	24,34
CaO	4,74	6,71	5,68	6,56	12,31	13,10	13,07	6,03
Na ₂ O	0,52	0,70	2,84	3,43	2,76	2,20	2,24	1,10
K ₂ O	0,18	0,39	1,44	0,97	0,59	0,35	0,38	0,28
P ₂ O ₅	0,06	0,08	0,26	0,57	0,12	0,13	0,12	0,09
Сумма	100,66	99,60	99,87	100,21	100,27	100,38	100,19	98,74
Rb	5,0	15,9	27,3	26,0	17,81	7,75	10,0	9,3
Ba	59	106	402	435	144	118	137	109
Th	0,39	0,67	4,56	5,27	1,02	1,04	1,24	0,64
U	0,13	0,19	1,59	1,86	0,36	0,35	0,48	0,25

Окончание таблицы 1

Nb	1,72	2,34	16,41	17,37	3,57	3,64	3,77	1,99
Ta	0,12	0,15	0,99	1,06	0,21	0,22	0,23	0,12
La	2,08	4,01	30,18	28,06	6,60	6,93	6,80	4,06
Ce	5,05	9,37	65,00	65,13	15,37	15,79	15,54	9,19
Pb	0,20	1,55	5,20	17,13	9,83	2,37	4,46	n/a
Pr	0,71	1,28	8,55	9,02	2,14	2,20	2,16	1,21
Nd	3,49	6,06	38,60	43,04	10,32	10,53	10,25	5,67
Sr	101	167	259	219	241	234	215	108
Sm	1,00	1,75	9,72	11,32	2,96	2,95	2,94	1,56
Zr	32,0	52,0	338,1	330,0	73,83	77,00	78,9	40,6
Hf	0,85	1,36	8,37	8,53	2,00	2,08	2,22	1,14
Eu	0,29	0,52	2,86	3,57	1,05	1,05	1,01	0,58
Ti	2744	3995	11040	11771	6480	6802	6074	3428
Gd	1,30	2,17	11,30	13,39	3,67	3,67	3,63	1,94
Tb	0,23	0,36	1,87	2,19	0,62	0,62	0,61	0,32
Dy	1,54	2,43	12,39	14,47	4,15	4,21	4,13	2,18
Ho	0,32	0,51	2,55	2,97	0,84	0,86	0,85	0,47
Y	8,6	14,0	69,8	82,7	22,7	23,0	22,65	10,86
Er	0,96	1,50	7,59	8,67	2,49	2,51	2,48	1,28
Tm	0,14	0,21	1,10	1,24	0,35	0,36	0,36	0,18
Yb	0,96	1,45	7,53	8,48	2,43	2,42	2,52	1,28
Lu	0,15	0,22	1,11	1,27	0,36	0,36	0,38	0,20

Примечание. 1) OM-4/1000 - № образца соответствует: номер скважины / глубина (м); 2) содержания окислов даны в %, элементов в г/т.

Таблица 2

Состав оливинов из пикритовых габбро-долеритов Масловского месторождения (мас.%)

№	1	2	3	4	5	6	7	8
№ обр.	OM-4/1006	OM-4/1006	OM-4/1010.8	OM-4/1010.8	OM-4/1015	OM-4/1020	OM-4/1020	OM-4/1020
SiO ₂	39.24	39.15	39.36	39.34	39.07	39.23	38.93	39.15
FeO	18.85	18.57	19.05	18.94	19.23	19.20	19.32	19.58
MnO	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
MgO	42.22	42.58	42.22	42.51	41.82	42.01	41.72	41.68
CaO	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.15	0.12	0.15
NiO	0.27	0.23	0.25	0.28	0.27	0.24	0.26	0.25
Сумма	100.97	100.92	101.26	101.47	100.79	101.12	100.63	101.11
Fo	79.98	80.34	79.80	80.01	79.50	79.60	79.38	79.15
№	9	10	11	12	13	14	15	16
№ обр.	OM-4/1026	OM-4/1030	OM-4/1030	OM-4/1035	OM-4/1039	OM-4/1046	OM-4/1046	OM-4/1050
SiO ₂	39.12	38.98	38.80	38.75	39.32	38.99	39.34	38.79
FeO	18.90	19.76	19.54	19.38	19.79	21.15	18.49	21.75
MnO	0.28	0.30	0.30	0.30	0.30	0.32	0.28	0.33
MgO	42.13	41.53	41.59	41.49	41.89	40.52	42.60	39.83
CaO	0.14	0.12	0.14	0.12	0.15	0.13	0.13	0.16
NiO	0.24	0.23	0.23	0.24	0.24	0.31	0.25	0.25
Сумма	100.82	100.91	100.58	100.27	101.69	101.42	101.09	101.11
Fo	79.89	78.94	79.15	79.24	79.05	77.36	80.42	76.55
№	161	166	172	180	182	183	185	189
№ обр.	OM-24/811	OM-24/811	OM-24/811	OM-24/814.5	OM-24/814.5	OM-24/814.5	OM-24/814.5	OM-24/814.5
SiO ₂	38.51	39.02	38.59	38.81	39.11	38.73	38.84	38.93
FeO	20.46	18.95	20.10	19.25	18.01	19.40	18.65	19.24
MnO	0.324	0.296	0.317	0.300	0.279	0.309	0.294	0.301
MgO	40.70	41.99	40.88	41.33	42.41	41.26	41.85	41.42
CaO	0.259	0.267	0.225	0.274	0.258	0.256	0.194	0.266
NiO	0.187	0.206	0.199	0.211	0.226	0.211	0.219	0.215
Сумма	100.44	100.74	100.31	100.17	100.30	100.17	100.04	100.37
Fo	78.00	79.80	78.38	79.29	80.76	79.13	80.00	79.33

Примечание. Fo - мольная доля форстерита в оливине (мол.%).

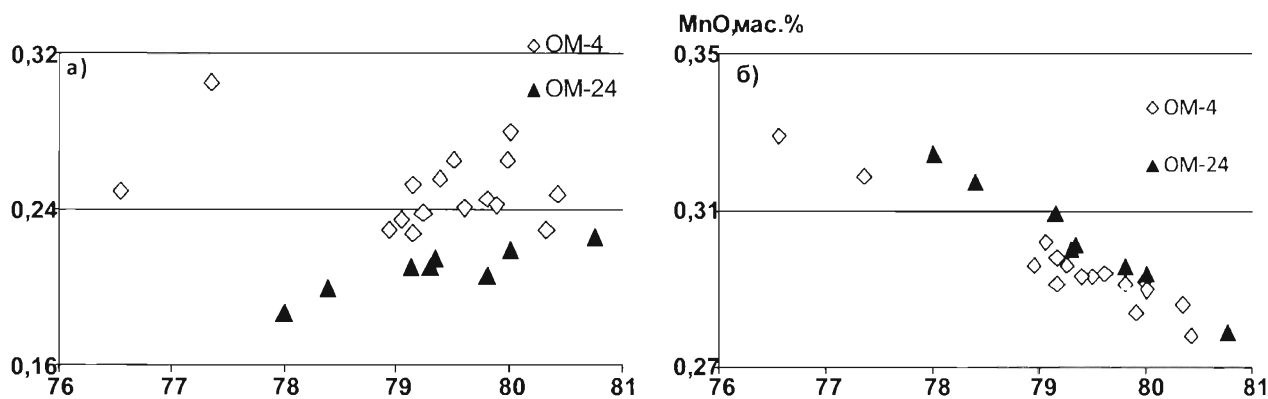
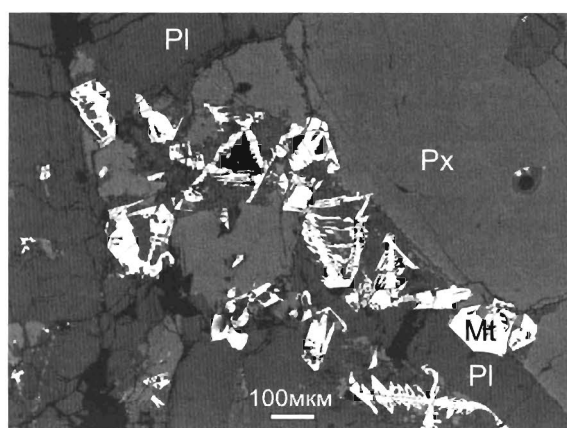
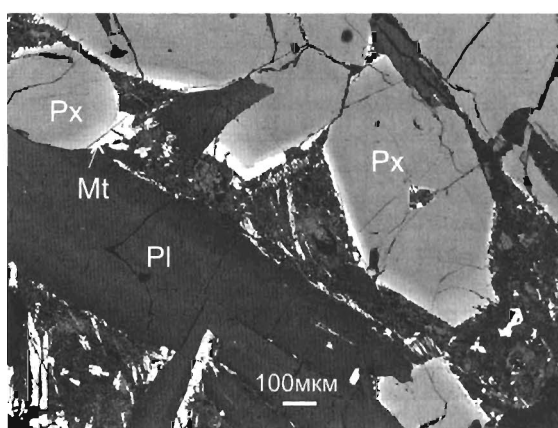


Рис. 3. Диаграммы NiO-Fo и MnO-Fo для оливинов из пикритовых габбро-долеритов Масловского месторождения. Используются данные из таблицы 2



а)



б)

Рис. 4. Электронно-зондовые фотографии пород южного массива Масловского месторождения

массивов, ни по сравнению с другими рудообразующими сульфидами (пирротинами и пентландитами) установлено не было.

Отличительная особенность северного интрузивного тела — обилие минералов платиновой группы во вкрапленных рудах, скопления которых часто видны невооруженным глазом. Среди них преобладают минералы группы атокита-рустенбургита, а среди халькопирита, особенно в прожилках и жилах доминирует звягинцевит (рис. 5, табл. 4).

Заключение

Проблема образования норильских медно-никелевых месторождений обсуждается в литературе более 50 лет [2, 6, 7], тем не менее многие ее аспекты остаются нерешенными. Одним из главных является вопрос о механизме концентрирования металлов, приводящем к повышению их содержаний в рудах на 6-8 порядков. Если на первых этапах изучения рассматриваемых месторождений господствовала идея о формировании оруденения из специфических ультрабазито-

вых магм, обогащенных рудными и летучими компонентами, в условиях закрытой магматической системы [4], то в последние годы она сменилась гипотезой их образования из обычных толеитовых расплавов при их движении из глубины земной коры к поверхности [8, 12, 13], основанная на обедненности пород надеждинской свиты цветными металлами и МПГ, предположительно отсаженными в виде руд. Последняя модель получила практически всеобщее признание в мире.

Рассмотренные данные по Масловскому месторождению свидетельствуют о том, что интрузивы норильского комплекса прорывают нижне-надеждинские базальты, поэтому их обедненность металлами напрямую не связана с формированием руд. Изученные геохимические особенности пород и минералов показывают, что в строении месторождения принимают участие различные интрузивные тела: северное, являющееся продолжением интрузива Норильск 1 (о чем свидетельствует Ta/Nb отношение в породах, а главное — одинаковое изменение составов оливинов в

Таблица 3

Состав пироксенов из интрузивных пород Масловского месторождения (мас. %)

№ п/п	№ обр.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	Cr ₂ O ₃	Сумма	MgO#
1	ОМ-24/597.4	51.08	0.710	1.96	12.17	0.323	14.70	18.75	0.319	0.000	100.02	68.29
2	ОМ-24/597.4	50.75	0.658	2.09	11.44	0.298	15.03	18.74	0.319	0.003	99.33	70.08
3	ОМ-24/620.5	52.00	0.528	2.26	8.49	0.215	16.05	20.18	0.274	0.031	100.03	77.12
4	ОМ-24/620.5	51.99	0.585	2.45	8.87	0.219	16.06	19.87	0.266	0.023	100.34	76.35
5	ОМ-24/655.2	52.57	0.566	2.04	9.25	0.227	15.62	19.92	0.317	0.008	100.52	75.06
6	ОМ-24/657	51.33	0.567	2.14	10.33	0.261	15.83	18.72	0.287	0.007	99.48	73.21
7	ОМ-24/704.6	51.71	0.464	2.33	7.23	0.173	16.37	20.54	0.236	0.158	99.21	80.15
8	ОМ-24/705.4	52.49	0.518	2.47	7.44	0.189	16.46	20.28	0.287	0.152	100.30	79.77
9	ОМ-24/758.6	51.72	0.469	2.36	8.28	0.201	15.96	20.14	0.322	0.404	99.87	77.46
10	ОМ-24/758.6	51.51	0.531	3.32	6.84	0.166	16.43	20.47	0.260	0.585	100.11	81.07
11	ОМ-24/803.3	51.63	0.442	2.36	6.29	0.161	16.69	20.55	0.219	0.388	98.74	82.55
12	ОМ-24/803.3	50.49	0.564	3.57	6.86	0.168	16.62	19.26	0.250	0.823	98.61	81.20
13	ОМ-24/814.5	51.59	0.545	2.89	5.84	0.147	16.79	20.50	0.272	0.986	99.60	83.66
14	ОМ-24/850	52.07	0.475	2.32	6.27	0.166	16.63	20.41	0.259	0.801	99.44	82.53
15	ОМ-24/850	51.66	0.808	2.35	8.43	0.248	16.83	18.39	0.310	0.595	99.66	78.06
16	ОМ-24/856.2	52.32	0.365	2.13	5.92	0.156	16.90	20.61	0.261	0.687	99.37	83.59
17	ОМ-24/856.2	52.24	0.376	2.16	5.72	0.153	16.96	20.65	0.270	0.784	99.35	84.1
18	ОМ-24/870.8	51.31	0.563	3.12	7.25	0.190	16.39	19.52	0.259	0.930	99.55	80.13
19	ОМ-3/802.5	50.41	0.908	3.75	9.27	0.210	15.03	19.92	0.262	0.192	99.95	74.30
20	ОМ-4/815.7	52.54	0.136	1.56	9.73	0.157	13.77	21.25	0.763	0.326	100.25	71.63
21	ОМ-4/815.7	51.76	0.109	1.79	9.86	0.192	14.27	20.45	0.385	0.047	98.90	72.06
22	ОМ-3/810.3	50.95	0.652	2.94	8.57	0.203	15.25	20.21	0.279	0.294	99.34	76.03
23	ОМ-3/810.3	50.40	0.840	3.54	8.93	0.210	14.99	20.14	0.250	0.202	99.50	74.95
24	ОМ-4/834.1	51.65	0.727	3.09	10.55	0.271	16.42	17.89	0.205	0.223	101.05	73.51
25	ОМ-4/834.1	50.67	0.620	4.13	7.36	0.181	16.40	19.73	0.227	0.745	100.08	79.89
26	ОМ-4/834.1	53.06	0.422	2.31	8.24	0.231	15.30	21.50	0.244	0.179	101.51	76.80
27	ОМ-4/836.1	52.54	0.391	2.91	6.00	0.160	17.18	20.37	0.187	0.740	100.52	83.62
28	ОМ-4/880.9	50.72	0.535	3.07	8.74	0.191	15.42	19.73	0.224	0.035	98.69	75.87
29	ОМ-4/880.9	51.46	0.478	3.16	7.37	0.167	15.89	20.37	0.215	0.212	99.33	79.36
30	ОМ-4/920.6	51.22	0.675	3.06	8.28	0.202	15.88	20.08	0.237	0.101	99.73	77.39
31	ОМ-4/920.6	50.33	0.628	3.69	7.51	0.180	16.07	20.05	0.250	0.407	99.11	79.22
32	ОМ-4/970	53.68	0.464	2.80	6.12	0.158	17.60	20.40	0.226	0.654	102.13	83.68
33	ОМ-4/970	53.08	0.588	3.74	6.26	0.154	16.95	20.30	0.245	1.035	102.39	82.85
34	ОМ-4/984.9	51.26	0.630	3.69	5.64	0.138	16.56	20.51	0.271	1.013	99.75	83.97
35	ОМ-4/990.7	52.08	0.649	3.04	5.24	0.143	16.26	21.54	0.377	0.964	100.34	84.68

Примечание. Mg# = 100*MgO/(MgO+FeO)

пикритовых габбро-долеритах) и южное, представляющее самостоятельное интрузивное тело. Главной особенностью последних является закаленный состав пород в верхней его части и иной (по сравнению с северным интрузивным телом) порядок кристаллизации. В рудах северной части, еще в большей степени, чем в Норильске 1, доминирующее значение имеет звягинцевит, в то время как в южном - атоцит-рустенбургит.

Благодарности. Авторы признательны геологам ООО «Норильскгеология» В.В. Кургину, К.К.

Ковальчуку, В.Т. Трофимовой, И.Н. Тушенцовой и другим за помощь в проведении полевых исследований, а также Д.В. Кузьмину за обработку лазерных анализов пород. Особую благодарность авторы выражают чл.-корр. РАН А.В. Соболеву за предоставленную возможность получения прецизионных данных по составам пород и минералов.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 07-05-01007, 09-05-01193), программы Президента РФ «Ведущие научные школы России» (НШ-3919.2010.5) и ОНЗ РАН (№ 8).