

УДК 552.11

## ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ И СОСТАВ МИКЧАНГДИНСКОГО УЛЬТРАБАЗИТ-БАЗИТОВОГО МАССИВА В НОРИЛЬСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ (СИБИРСКАЯ ТРАППОВАЯ ПРОВИНЦИЯ)

© 2009 Н.А. Криволицкая<sup>1</sup>, В.Н. Михайлов<sup>2</sup>, С.Г. Снисар<sup>2</sup>, Б.И. Гонгальский<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва;  
e-mail: nakriv@mail.ru*

<sup>2</sup>*ООО «Норильскгеология», г. Талнах*

<sup>3</sup>*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва*

В статье рассмотрено строение Микчангдинского ультрабазит-базитового массива, расположенного в восточной части Норильского рудного района и относящегося к трапповой формации. Массив впервые описывается в литературе. Его отличительными особенностями являются наличие сульфидной вкрапленности в эндоконтактной зоне и присутствие контрастно зональных породообразующих минералов в породах. Среди последних наибольший интерес представляет оливин, для которого установлены зерна с разницей в составах между центральными и краевыми частями до 20% мольной доли форстерита. Такие оливины ранее не были известны в земных породах. Охарактеризовано внутреннее строение массива, изменение составов породообразующих минералов в вертикальном разрезе интрузива, петро- и геохимические особенности пород. Сделан вывод о кристаллизации массива из исходной магмы, близкой по составу к магмам, сформировавшим интрузивы с уникальными Pt-Cu-Ni рудами – Талнах и Норильск 1. Появление необычных зональных оливинов объясняется специфическим геологическим положением Микчангдинского массива в северном периклинальном обрамлении Хантайско-Рыбинского вала.

*Ключевые слова:* Норильский район, Сибирская трапповая провинция, зональный оливин.

Непреодолимый интерес исследователей к различным аспектам геологии ультрабазит-базитовых массивов, локализованных на северо-западе Сибирской платформы, обусловлен, главным образом, их повышенной рудоносностью. Уникальные по запасам никеля и платиноидов месторождения Норильск 1, Талнахское и Октябрьское приурочены к интрузивам габбро-долеритового состава, особенности образования которых достаточно детально рассмотрены в литературе (Генкин и др., 1981; Годлевский, 1959; Додин и др., 1971; Золотухин и др., 1975; Лихачев, 1965, 2006; Arndt et al., 2003; Naldrett, 1992, 2005). К числу наиболее важных вопросов генезиса этих месторождений-гигантов наряду с закономерностями размещения интрузивов с богатыми Pt-Cu-Ni рудами в пределах трапповой провинции, определением роли вмещающих пород в их формировании относятся и условия кристаллизации сформировавших их магм. Среди главных физико-химических параметров становления интрузивов с помощью различных

методов (термобарометрических, термодинамических, ЭВМ-моделирования) были определены температура и давление при кристаллизации исходной магмы, степень ее закристаллизованности, состав расплава, режим летучих компонентов и другие (Булгакова, 1971; Ворцепнев, 1978; Годлевский, Лихачев, 1981; Днепровская и др., 1987; Криволицкая и др., 2001; Криволицкая, Соболев, 2001; Лихачев, 1988). Однако такие работы были выполнены только для массивов со сплошными рудами – Талнахского и Норильска 1. Между тем, интересно сопоставить полученные результаты с аналогичными данными для других массивов Норильского района, характеризующихся разной степенью рудоносности и оценить роль физико-химических условий кристаллизации магм в формировании руд. Несомненно, что такая работа должна быть проделана для ряда интрузивов для получения статистически значимого материала.

Обнаруженный в результате поисковых работ Микчангдинский ультрабазит-базитовый

массив (рис. 1, 2) представляет интерес как потенциально рудоносный объект, перспективы которого пока еще окончательно неясны. Поэтому результаты его изучения и сравнение по ряду параметров (внутреннему строению, петро- и геохимии, особенностям минерального состава, условиям образования) с эталонными интрузивами норильского комплекса имеет важное практическое значение. Однако наиболее ценным являются необычные свойства его породообразующих минералов, особенно оливинов, которые выделяют его из обширного сообщества ультрабазит-базитовых массивов района.

Хорошо известно, что интрузивы норильского комплекса, относящиеся к раннетриасовой трапповой формации, сформировались в приповерхностных условиях. Об этом свидетельствуют структурно-текстурные особенности пород, присутствие некоторого количества стекла в эндоконтактных зонах, наличие стекловатых включений в ранних ликвидусных минералах – оливине и пироксене. В породах Микчангдинского массива были обнаружены уникальные зональные оливины (Криволицкая и др., 2009). Для интрузивных земных пород это явление встречается довольно редко, поскольку протекающие при субсолидусных температурах диффузионные процессы, как правило, нивелируют возникшие при образовании минералов неоднородности в их составе. Оливины с контрастной прямой и обратной зональностью особенно характерны для марсианских метеоритов (Connolly et al., 2006; Sarbadhikari et al., 2009). До настоящего времени в земных породах были описаны зерна оливинов с зональным распределением главных компонентов (Fe и Mg) с градиентом по  $F_0$  8-10 мол. %. (Kamenetsky et al., 2008). Поэтому находка в магматических породах Норильского района зональных оливинов, в которых разница между центром и периферией зерен составляет более 20 мол. %  $F_0$ , – явление уникальное не только для данного региона, но и для других ультрабазит-базитовых комплексов мира.

#### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ РАЙОНА

На современной денудационной поверхности в пределах Норильского района обнажаются породы платформенного чехла (рис. 1), перекрывающие кристаллическое основание: терригенно-осадочные отложения от нижнего кембрия до верхней перми (мощностью до 11 км) и раннетриасовые вулканогенные образования (3.5 км). Они образуют несколько главных пликативных структур: Хантайско-Рыбнинский и Дудинский валы, сложенные карбонатно-терригенными и угленосными отложениями,

а также Тунгусскую синеклизу и Норильско-Хараелахский прогиб, в которых на поверхность выходят многочисленные потоки базальтов и туфы ( $P_2-T_1$ ). В составе прогиба выделяются Норильская, Хараелахская и Иконская мульды (Дюжиков и др., 1988).

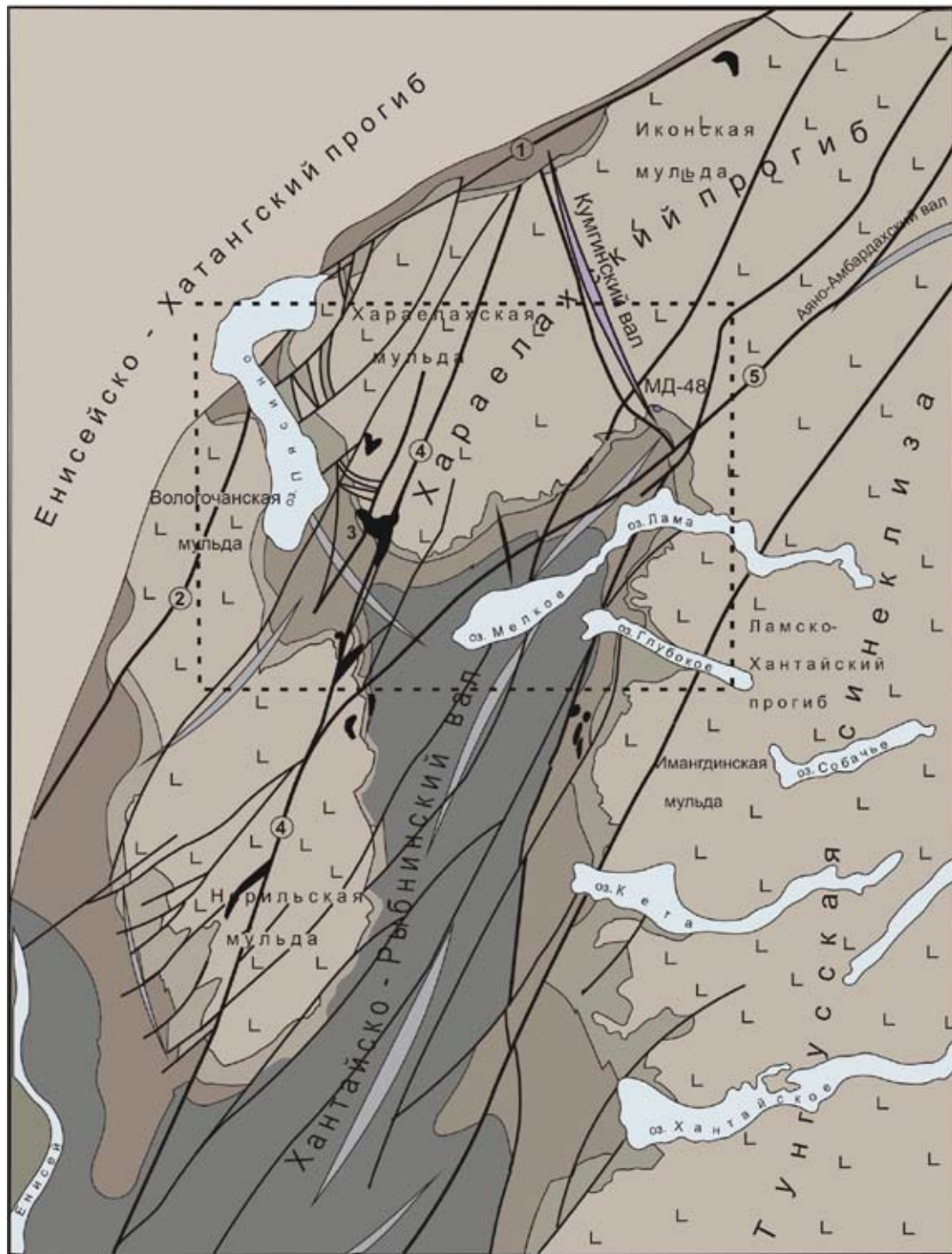
Микчангдинский массив расположен в восточной части района (рис. 1, 2) в долине р. Ю. Икэн – правого притока р. Микчангда, в зоне сочленения северного периклинального замыкания Хантайско-Рыбнинского вала и восточных частей Хараелахской и Иконской мульды, в осевой части разделяющего их Кумгинского вала. Левобережье р. Микчангды, в структурном плане относится к Ламско-Хантайскому прогибу, приуроченному к северо-западной окраине Тунгусской синеклизы. Последняя отделена от Норильско-Хараелахского прогиба Хантайско-Рыбнинским валом. Особенностью данной территории является резкое сокращение мощности вулканогенных пород по сравнению с примыкающими к ней областями, особенно нижних трех свит. Из выделенных одиннадцати свит туфо-лавовой толщи (Fedorenko et al., 1996) в исследованном районе установлено девять (снизу вверх): ивакинская, сыверминская, гудчихинская, хақанчанская, туклонская, надеждинская, моронговская, мокулаевская и хараелахская. Вулканические образования отсутствуют в разрезе толщи пород, среди которых залегает Микчангдинский массив. Он локализован в отложениях девона (зубовская свита), представленных доломитами, мергелями, алевролитами с прослоями солей и ангидритов, и прорывает габбро-долериты огонерского комплекса.

#### ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ МИКЧАНГДИНСКОГО МАССИВА

Массив вскрыт скважиной МД-48 на глубине 1157-1257 м (рис. 3). В его строении снизу вверх выделяются габбро-долериты: нижние контактовые, оливиновые, пикритовые, оливиновые, оливинсодержащие, безоливиновые, верхние пикритовые, оливиновые, верхние контактовые. Таким образом, породы Микчангдинского интрузива принципиально отличаются друг от друга по концентрациям оливина, а также размерностью минералов. Такситовые текстуры характерны для контактовых зон (верхней – 1155-1160 м и нижней – 1247-1257 м).

Практически на всем протяжении разреза (безоливиновые, оливинсодержащие и оливиновые габбро-долериты) преобладает пойкилоофитовая текстура пород (горошчатая (Додин и др., 1971)), обусловлена наличием ойкокрисстов (округлых обособлений) авгита, содержащих разнообразно ориентированные многочислен-

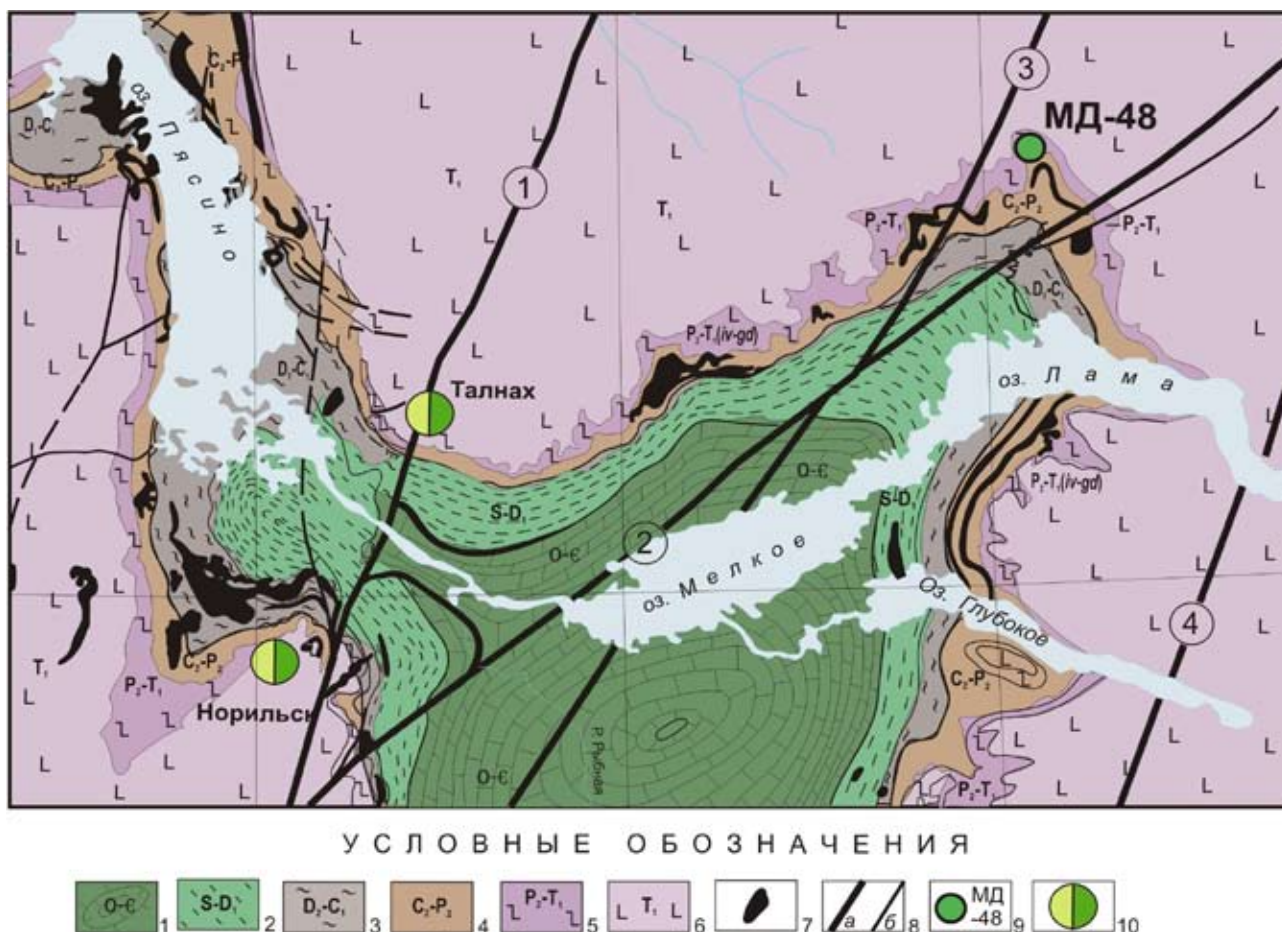
ОБЗОРНАЯ ТЕКТОНИЧЕСКАЯ СХЕМА НОРИЛЬСКОГО РАЙОНА



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



**Рис. 1.** Обзорная тектоническая схема Норильского района. 1-5. Структурные ярусы: 1 – мезо-кайнозойский, 2 – верхнепалеозойско-нижнемезозойский, 3 – верхнепалеозойский, 4 – средне-верхнепалеозойский, 5 – вендско-нижнепалеозойский; 6 – рудоносные дифференцированные интрузии габбро-долеритов; 7 – оси антиклиналей; 8 – разломы: а – рядовые, б – глубинные (1 – Северо-Харелахский, 2 – Пясинский, 3 – Далдыканский, 4 – Норильско-Харелахский, 5 – Микчангдинский). Пунктиром показан контур территории, изображенной на рис. 2.



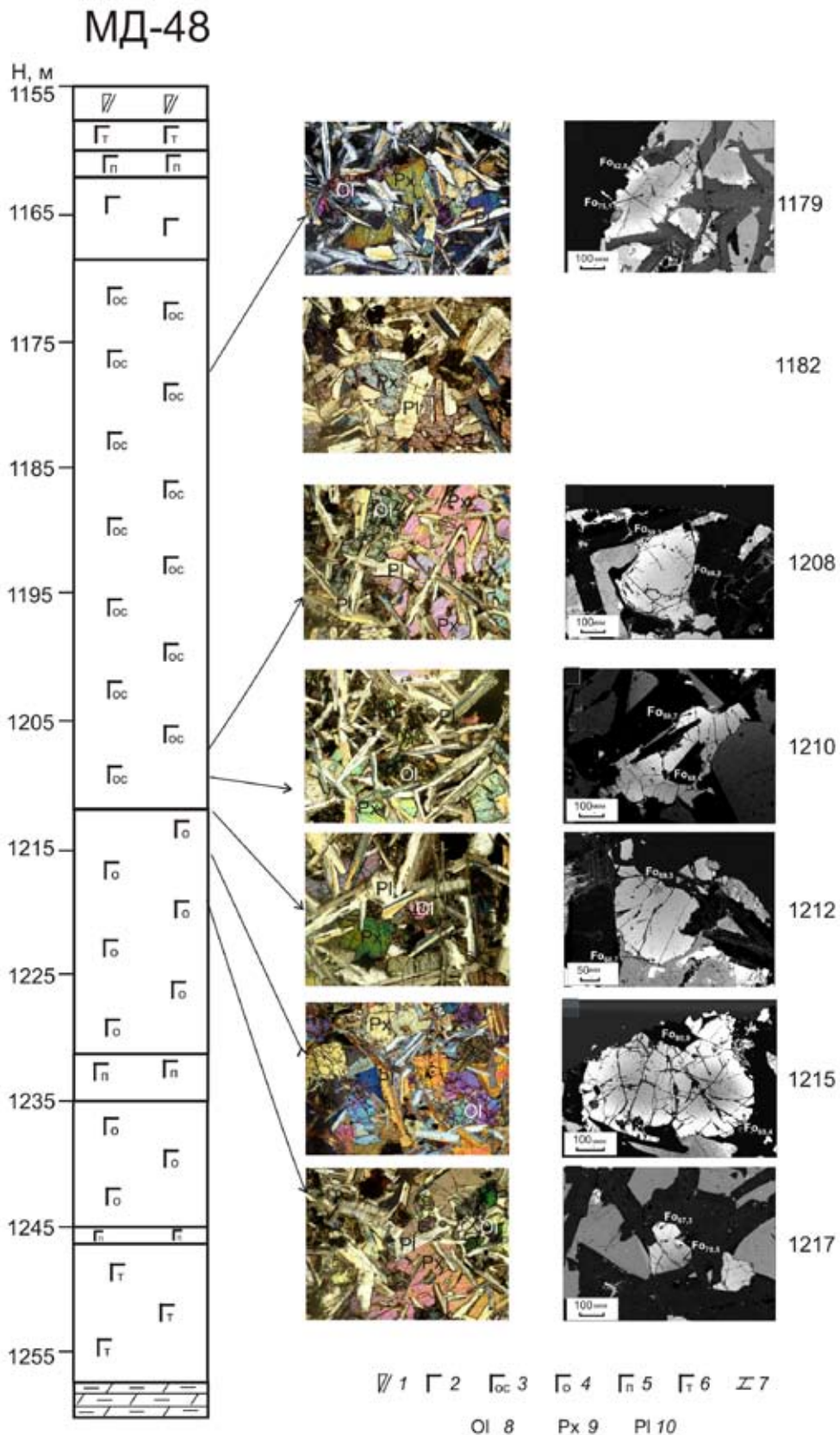
**Рис. 2.** Геологическая карта нижнего течения р. Микчангда. 1-6 – стратифицированные образования: 1 – кембрийские-ордовикские сульфатно-терригенно-карбонатные, 2 – силурийские-нижнедевонские карбонатно-терригенные, сульфатные и галогенные морские отложения, 3 – среднедевонские-нижнекаменноугольные сульфатно-терригенно-карбонатные и галогенные морские отложения, 4 – среднекаменноугольные-верхнепермские лагунно-континентальные угленосные отложения, 5 – позднепермские-раннетриасовые вулканогенные образования, включающие дифференцированную серию лав (от трахибазальтов ивакинской свиты верхней перми до пикробазальтов среднегудчихинской подсвиты нижнего триаса), 6 – раннетриасовые вулканогенные образования базитового состава; 7 – интрузии долеритов; 8 – разломы: а – главные швы долгоживущих разломов (1 – Норильско-Хараелашского, 2 – Микчангдинского, 3 – Нералахского, 4 – Кета-Ирбинского), б – рядовые; 9 – буровая скважина МД-48, 10 – месторождения медно-никелевых руд.

ные лейсты плагиоклаза (рис. 3 – фотографии шлифов). Удлиненные лейсты плагиоклаза (размером 0.8-1 мм) располагаются либо хаотично внутри кристаллов авгита, либо параллельно границам зерен клинопироксена в межзерновом пространстве между ойкокристами. Оливин образует в указанных разновидностях пород как идиоморфные, так и неправильной формы кристаллы, как правило, расположенные по периферии ойкокристов авгита. Его количество варьирует в названных разновидностях от 0 до 20 об. %. В пикритовых разновидностях оливин представлен изометричными кристаллами размером 1.0-1.5 мм, содержание которых достигает 60 % от объема породы. В них происходит изменение размера и формы кристаллов плагиоклаза: соотношение длины и ширины лейст плагиоклаза уменьшается, кристаллы

приобретают короткоаблитчатую форму. В породе присутствуют мелкие зерна ортопироксена, магнетита, ильменита, апатита.

В интервале 1204.7-1217 отмечается более мелкозернистая структура пород по сравнению с выше- и нижележащими габбро-долеритами. В нижнем эндоконтакте (1247-1257 м) такситовые габбро-долериты характеризуются интенсивным замещением оливина и пироксенов вторичными минералами (серпентин, амфибол), присутствием прожилков и вкрапленности сульфидных минералов (до 5 % от объема породы).

Химический состав пород Микчангдинского массива был определен для главных типов пород, отобранных по разрезу скважины. Результаты анализов представлены в таблице 1. Распределение главных породообразующих окислов подтверждают закономерности изменения состава



**Рис. 3.** Строение Микчангдинского массива по скважине МД-48, текстурно-структурные особенности пород (фотографии шлифов, 1 колонка) и внутреннее строение зерен оливина (в отраженных электронах, 2 колонка). Условные обозначения здесь и на рис. 6: 1-7 – габбро-долериты, соответственно – контактовые (1), такситовые (2), безоливиновые (3), оливинсодержащие (4), оливиновые (5), пикритовые (6), 7 – осадочные породы; 8 – оливины; 9 – пироксены; 10 – плагиоклазы. Горизонтальная сторона фотографий шлифов – 4 мм, николи скрещены.

Таблица 1. Содержания главных (мас.%) и редких элементов (г/т) в породах

№ пп	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ обр.	1257	1161.1	1161.9	1171.4	1179.5	1208.5	1212.5	1217.2	1232.8	1246.8
SiO <sub>2</sub>	47.68	42.29	44.45	48.66	48.83	47.79	47.38	46.45	40.14	40.24
TiO <sub>2</sub>	1.03	0.54	0.84	1.16	1.16	1.03	0.94	0.95	0.47	0.37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.95	10.90	12.39	15.02	14.66	15.85	15.56	13.43	7.65	7.44
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.64	12.44	12.31	12.28	12.08	12.65	12.40	13.69	15.51	15.38
MnO	0.16	0.20	0.23	0.18	0.18	0.16	0.16	0.18	0.17	0.16
MgO	7.37	19.29	15.22	7.91	7.75	7.27	8.53	11.64	22.52	22.22
CaO	10.72	7.98	8.51	10.97	11.48	10.82	10.37	9.66	5.23	5.05
Na <sub>2</sub> O	2.02	0.98	1.41	2.33	2.27	2.22	2.02	1.82	0.83	0.72
K <sub>2</sub> O	0.37	0.31	0.47	0.45	0.40	0.38	0.35	0.35	0.19	0.20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11	0.07	0.11	0.10	0.12	0.11	0.11	0.10	0.06	0.05
ППП	1.64	4.32	3.56	0.69	0.57	1.44	1.75	1.14	6.21	7.81
Sum	99.69	99.31	99.49	99.75	99.50	99.72	99.57	99.41	98.97	99.63
Rb		6.83	9.33	10.11	8.54	8.89	8.94	8.87	4.72	
Ba		128	230	125	106	110	102	105	43	
Th		0.58	0.78	1.02	0.93	0.88	0.78	0.83	0.44	
U		0.22	0.30	0.37	0.36	0.33	0.31	0.30	0.16	
Nb		2.06	3.24	3.64	3.77	3.76	3.35	3.25	1.77	
Ta		0.13	0.20	0.23	0.26	0.23	0.20	0.20	0.11	
La		3.98	6.48	7.57	7.52	6.49	5.74	6.33	2.95	
Ce		8.73	14.15	16.66	16.85	14.49	12.80	14.24	6.54	
Pb		6.27	0.99	1.72	1.72	1.98	2.80	1.06	1.02	
Pr		1.18	1.90	2.28	2.31	2.00	1.73	1.96	0.91	
Nd		5.63	8.88	10.97	10.99	9.57	8.54	9.20	4.35	
Sr		217	208	208	214	251	232	210	123	
Sm		1.50	2.40	3.03	3.06	2.72	2.41	2.52	1.26	
Zr		50.4	58.9	73.9	80.6	73.9	69.9	66.2	36.1	
Hf		1.23	1.58	1.95	2.16	1.92	1.81	1.79	0.97	
Eu		0.54	0.81	1.02	1.01	0.93	0.80	0.90	0.42	
Ti		3318	4963	6211	6541	6250	5517	5319	3038	
Gd		1.97	2.96	3.88	3.77	3.42	2.84	3.23	1.60	
Tb		0.32	0.49	0.64	0.63	0.57	0.49	0.53	0.26	
Dy		2.13	3.24	4.28	4.34	3.81	3.33	3.66	1.80	
Ho		0.45	0.68	0.91	0.91	0.79	0.67	0.78	0.37	
Y		11.9	18.5	24.3	24.0	21.8	18.8	20.2	10.3	
Er		1.27	1.97	2.59	2.65	2.28	2.03	2.19	1.07	
Tm		0.18	0.29	0.37	0.37	0.33	0.29	0.31	0.15	
Yb		1.25	1.88	2.50	2.55	2.30	2.06	2.16	1.09	
Lu		0.19	0.27	0.37	0.37	0.34	0.30	0.32	0.16	
Ni		971	660	140	127	822	856	1633	2439	
Cu		570	579	111	127	1508	1274	2480	2919	
Zn		72	95	90	93	72	76	55	81	
Mn		1636	1806	1434	1374	1286	1211	1380	1387	
Sc		20.6	27.0	41.8	44.4	38.3	34.6	34.2	21.5	
Zr		50.4	58.9	73.9	80.6	73.9	69.9	66.2	36.1	
Co		108.6	84.8	50.8	47.5	83.6	84.9	94.5	163.3	

Примечания. № образца соответствует глубине по скв. МД-48; содержания породообразующих окислов определены РФА в ИГЕМ РАН (аналитик А. Якушев), редких элементов – ИСП-MS в ИМГРЭ (аналитик Д. Журавлев)

пород, выявленные при их петрографическом описании. Так, устанавливаются два максимума содержания магния в рассматриваемом разрезе: на глубине 1169-1170 м и 1232-1246 м, которые соответствуют верхним и нижним пикритовым горизонтам (рис.3). Центральная часть интрузива характеризуется обычными для основных пород концентрация MgO – в среднем 7 мас. %. Породы в целом являются низкотитанистыми (концентрации TiO<sub>2</sub> не превышают 1 мас. %) и низкокальциевыми (K<sub>2</sub>O = 0.4 мас. %). Концентрации Na<sub>2</sub>O существенно выше, чем калия – они достигают 2.33 мас. %. Следует отметить также достаточно высокие содержания железа в них, колеблющиеся от 12 до 15.5 мас. % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. По всем этим петрохимическим особенностям породы массива сопоставимы с составом верхних свит базальтов Сибирской трапповой формации (моронговская-кумгинская свиты (Lightfoot et al., 1993)).

Из элементов-примесей обращает на себя внимание никель, концентрации которого являются наиболее высокими в высокомагнезиальных породах. При этом верхние пикритовые габбро-долериты содержат в 4 раза меньше данного элемента, чем нижние (обр. 1232-1246 и 1161.1-1161.9). В первую очередь, это обусловлено присутствием сульфидной минерализации в приподошвенных горизонтах, а во-вторых, как будет показано ниже, – более низкими концентрациями никеля в оливине. Аналогичная картина наблюдается и для меди, в то время как содержания кобальта меняются не так существенно. Последнее обусловлено его низкими содержаниями в сульфидах, а также очень незначительными концентрациями в оливинах, которые не влияют почти на его валовые содержания в породах. Поведение редких элементов будет рассмотрено в заключительной части статьи.

### СОСТАВ ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ

*Оливин* встречается практически по всему разрезу интрузива (кроме маломощного горизонта, сложенного габбро-долеритами – рис. 3), морфология и размер его зерен меняется в зависимости от типа пород: в высокомагнезиальных разновидностях (пикритовых габбро-долеритах) преобладают субидиоморфные крупные выделения (до 1-2 мм, в среднем 0.5 мм) или округлые зерна 0.4-0.1 мм, а в низкомагнезиальных – интерстициальная вкрапленность между кристаллами плагиоклаза (0.2-0.5 мм).

Совершенно необычным для интрузивов норильского района является обнаружение в породах большей части разреза исследованного массива оливина с отчетливым зональным

строением, которое выявляется при оптическом изучении под микроскопом и подтверждается данными микрозондовых исследований (рис. 3). Анализы оливинов выполнены Н.А. Криволицкой на электронном микрозонде «JEOL JXA-8200 Superprobe» в Институте Химии им. Макса Планка (г. Майнц, Германия) по специально разработанной методике (Sobolev et al., 2007), позволяющей повысить предел обнаружения примесных элементов (Ti, Cr, Mn, Co, Ni) до 10 г/г. Точность определения мольной доли форстерита в оливине составляла 0.2 %. Результаты измерений наиболее контрастных по составу зональных оливинов из пород разных горизонтов интрузива приведены в табл. 2.

Самые изменчивые по составу зерна обнаружены в среднезернистых оливиновых и оливинсодержащих массивных габбро-долеритах с долеритовой и пойкилоофитовой структурой в интервале 1170-1230 м (среднее содержание MgO=7.5 мас. % (рис. 3)). Магнезиальность оливинов из одного образца для оливиновых и оливинсодержащих пород варьирует в пределах 12-20 мол. % Fo. Степень контрастности между центральными и краевыми частями зерен может сильно варьировать в одном образце. Максимальное различие между ядром и периферией установлено для одного из выделений оливина и составляет 20.1 мол. %. В пикритовых габбро-долеритах (19-22 мас. % MgO) в верхнем и нижнем эндоконтактах оливины практически незональны (табл. 2).

Результаты детального изучения крупного зерна оливина от одного края к другому через центр с шагом 100 мкм показаны на рис. 4. Концентрация NiO напрямую коррелируется содержанием форстеритовой составляющей в минерале ( $R^2 = 0.96$ ), а MnO и CoO – с фаялитовой ( $R^2 = 0.98$  и  $0.92$  соответственно). Поведение кальция не зависит от концентрации главных элементов и характеризуется индифферентным отношением к Fo ( $R^2 = 0.01$ ). Однако зерна оливина могут обладать не только такой симметричной зональностью, как показано на рис. 4, но и иметь более сложную форму. Нередко зональность является односторонней при условии срастания оливина с плагиоклазом (рис. 5).

Состав оливина закономерно меняется по разрезу и хорошо согласуется с составом пород (рис. 6): наиболее магнезиальные зерна установлены в нижних и верхних пикритовых габбро-долеритах, в которых мольная доля форстеритовой составляющей достигает 82.8 мол. %, а самые железистые – в верхней части оливинсодержащих габбро-долеритов (51.0 мол. % Fo). Содержания NiO в оливинах безрудных пород постепенно возрастают от 0.05 мас. % до 0.18 мас. % с увеличением магнезиальности минерала, а в

Таблица 2. Состав оливинов, мас.%

№ п/п	H, м	Fe	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	NiO	CoO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма
1	1161,1	80.34	39.00	0.019	0.023	18.56	0.298	42.53	0.125	0.166	0.023	0.004	100.74
2	1161,1	80.68	38.88	0.018	0.029	18.21	0.291	42.64	0.186	0.169	0.023	0.011	100.46
3	1161,1	80.13	38.67	0.020	0.040	18.55	0.291	41.94	0.226	0.166	0.022	0.041	99.96
4	1161,1	79.63	38.77	0.019	0.044	18.97	0.296	41.61	0.409	0.166	0.024	0.029	100.33
5	1161,1	79.54	38.83	0.027	0.015	19.15	0.306	41.77	0.216	0.160	0.023	0.006	100.50
6	1161,9	77.08	38.78	0.021	0.032	21.50	0.346	40.56	0.116	0.132	0.028	0.007	101.51
7	1161,9	76.81	38.50	0.018	0.024	21.66	0.350	40.25	0.109	0.127	0.028	0.005	101.07
8	1161,9	76.90	38.81	0.013	0.020	21.66	0.351	40.46	0.164	0.133	0.029	0.011	101.65
9	1161,9	76.04	38.59	0.021	0.029	22.34	0.364	39.78	0.136	0.136	0.027	0.006	101.43
10	1161,9	77.97	38.76	0.010	0.041	20.67	0.332	41.01	0.100	0.153	0.027	0.018	101.12
11	1161,9	78.86	38.92	0.008	0.044	19.89	0.316	41.60	0.101	0.156	0.027	0.021	101.08
12	1161,9	79.71	39.18	0.010	0.037	19.23	0.302	42.36	0.159	0.152	0.025	0.024	101.48
13	1161,9	78.78	39.04	0.012	0.042	20.01	0.316	41.68	0.225	0.136	0.026	0.020	101.51
14	1171.4	61.57	36.94	0.019	0.019	33.72	0.501	30.31	0.260	0.088	0.030	0.013	101.90
15	1171.4	58.25	36.68	0.034	0.030	36.27	0.534	28.39	0.200	0.077	0.032	0.003	102.25
16	1171.4	60.60	37.05	0.016	0.014	34.62	0.506	29.87	0.260	0.083	0.033	0.004	102.45
17	1171.4	59.21	36.59	0.028	0.014	35.19	0.512	28.65	0.170	0.095	0.029	0.006	101.28
18	1171.4	72.40	38.31	0.025	0.028	25.31	0.373	37.23	0.200	0.136	0.027	0.022	101.66
19	1171.4	65.75	37.38	0.017	0.076	30.42	0.428	32.75	0.670	0.116	0.029	0.110	101.99
20	1171.7	68.35	37.28	0.010	0.090	28.09	0.381	34.02	0.790	0.128	0.027	0.072	100.88
21	1171.7	69.54	37.16	0.011	0.012	27.48	0.389	35.19	0.207	0.125	0.030	0.024	100.62
22	1171.7	62.47	36.26	0.013	0.028	33.07	0.457	30.88	0.103	0.118	0.029	0.005	100.95
23	1171.7	70.43	37.29	0.014	0.024	26.84	0.379	35.85	0.130	0.139	0.028	0.010	100.69
24	1171.7	57.51	35.82	0.030	0.001	36.81	0.556	27.94	0.168	0.085	0.032	0.007	101.46
25	1171.7	56.80	35.56	0.032	0.004	37.04	0.559	27.32	0.136	0.071	0.030	0.002	100.75
26	1171.7	75.52	38.00	0.022	0.023	22.59	0.327	39.08	0.149	0.144	0.026	0.015	100.38
27	1171.7	66.96	36.47	0.011	0.019	29.33	0.412	33.33	0.250	0.114	0.029	0.023	99.99
28	1177	73.59	37.85	0.011	0.060	24.16	0.348	37.75	0.398	0.127	0.027	0.079	100.81
29	1177	63.55	36.56	0.032	0.003	32.28	0.483	31.56	0.200	0.085	0.033	0.004	101.24
30	1177	73.98	37.92	0.022	0.026	23.97	0.366	38.23	0.161	0.114	0.026	0.011	100.85
31	1177	67.27	37.18	0.026	0.031	29.33	0.427	33.82	0.156	0.108	0.027	0.015	101.12
32	1177	68.75	37.18	0.026	0.037	28.22	0.393	34.82	0.127	0.114	0.028	0.013	100.96
33	1177	62.50	36.64	0.021	0.015	33.08	0.469	30.93	0.249	0.091	0.030	0.007	101.53
34	1177	51.64	35.28	0.035	0.010	40.88	0.538	24.48	0.146	0.082	0.033	0.000	101.48
35	1177	59.94	36.32	0.036	0.026	35.05	0.503	29.41	0.156	0.100	0.032	0.008	101.64
36	1178.3	56.82	36.64	0.037	0.008	37.79	0.541	27.89	0.187	0.086	0.035	0.008	103.22
37	1178.3	68.39	37.90	0.019	0.029	28.84	0.400	35.00	0.162	0.123	0.028	0.013	102.51
38	1178.3	62.29	36.91	0.014	0.023	33.43	0.486	30.98	0.277	0.085	0.032	0.005	102.23
39	1178.3	66.39	37.29	0.012	0.029	30.26	0.427	33.52	0.267	0.107	0.031	0.018	101.95
40	1179.5	63.44	36.27	0.011	0.038	32.12	0.468	31.26	0.355	0.086	0.030	0.015	100.66
41	1179.5	71.41	37.29	0.010	0.022	25.97	0.384	36.38	0.127	0.122	0.029	0.015	100.35
42	1179.5	65.49	37.06	0.027	0.006	30.70	0.455	32.68	0.215	0.104	0.033	0.004	101.27
43	1179.5	72.19	37.47	0.017	0.026	25.26	0.376	36.78	0.096	0.114	0.027	0.010	100.18
44	1182.6	63.84	36.27	0.015	0.019	31.75	0.465	31.44	0.265	0.091	0.034	0.011	100.35
45	1182.6	60.84	35.82	0.020	0.015	33.98	0.498	29.62	0.263	0.083	0.031	0.003	100.34
46	1182.6	55.32	35.59	0.022	0.019	38.12	0.579	26.47	0.229	0.061	0.032	0.004	101.13
47	1182.6	69.25	37.34	0.010	0.042	27.60	0.387	34.87	0.564	0.123	0.028	0.088	101.06
48	1182.6	66.49	36.84	0.023	0.019	29.85	0.431	33.22	0.271	0.103	0.032	0.005	100.79
49	1182.6	61.70	36.36	0.018	0.020	33.47	0.470	30.24	0.223	0.090	0.033	0.011	100.92
50	1182.6	65.26	36.73	0.019	0.012	30.63	0.447	32.28	0.249	0.087	0.034	0.012	100.50
51	1182.6	71.33	37.09	0.013	0.184	25.46	0.374	35.53	0.313	0.116	0.029	0.050	99.16
52	1205.6	63.45	36.51	0.014	0.018	32.14	0.464	31.30	0.218	0.156	0.032	0.013	100.86
53	1205.6	61.33	35.91	0.014	0.029	33.47	0.457	29.77	0.104	0.150	0.033	0.008	99.95
54	1205.6	57.56	35.74	0.015	0.020	36.38	0.498	27.67	0.203	0.136	0.036	0.015	100.71
55	1205.6	60.58	36.26	0.014	0.014	34.17	0.474	29.46	0.239	0.142	0.034	0.013	100.81
56	1205.6	62.73	36.37	0.017	0.037	32.49	0.469	30.67	0.365	0.155	0.033	0.020	100.63



ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ И СОСТАВ

Таблица 2. Продолжение

№ п/п	H, м	Fo	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	NiO	CoO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма
57	1205.6	63.90	36.66	0.017	0.018	31.71	0.451	31.47	0.234	0.138	0.029	0.004	100.73
58	1207.1	76.09	37.82	0.015	0.036	21.85	0.328	39.02	0.153	0.167	0.027	0.017	99.43
59	1207.1	72.74	37.79	0.012	0.035	24.80	0.360	37.10	0.165	0.166	0.030	0.021	100.48
60	1207.1	71.48	37.59	0.012	0.035	25.81	0.370	36.29	0.126	0.150	0.030	0.012	100.43
61	1207.1	70.09	37.49	0.016	0.287	26.48	0.358	34.80	1.146	0.144	0.030	0.151	100.91
62	1207.1	62.54	36.46	0.038	0.009	32.67	0.486	30.59	0.210	0.106	0.030	0.004	100.61
63	1208.5	57.34	35.72	0.011	0.024	36.70	0.516	27.66	0.268	0.101	0.034	0.021	101.06
64	1208.5	63.75	36.08	0.027	0.036	31.79	0.449	31.36	0.136	0.112	0.033	0.008	100.03
65	1208.5	60.94	35.90	0.018	0.015	34.00	0.472	29.75	0.238	0.109	0.034	0.013	100.54
66	1208.5	67.06	37.12	0.016	0.070	29.37	0.398	33.54	0.379	0.125	0.031	0.034	101.08
67	1208.5	71.33	37.82	0.021	0.026	26.10	0.388	36.42	0.221	0.109	0.029	0.010	101.14
68	1208.5	73.91	38.05	0.028	0.038	23.94	0.364	38.02	0.190	0.115	0.028	0.020	100.79
69	1208.5	72.91	37.79	0.012	0.035	24.76	0.364	37.39	0.120	0.147	0.029	0.007	100.66
70	1208.5	76.72	38.10	0.017	0.046	21.49	0.327	39.72	0.251	0.132	0.027	0.032	100.14
71	1208.5	68.58	37.43	0.027	0.022	28.22	0.421	34.54	0.237	0.118	0.034	0.007	101.05
72	1210.3	61.51	36.54	0.037	0.010	33.72	0.462	30.23	0.198	0.134	0.034	0.003	101.37
73	1210.3	66.18	36.99	0.016	0.028	30.17	0.425	33.11	0.221	0.137	0.032	0.016	101.15
74	1210.3	55.53	35.59	0.026	0.033	37.99	0.516	26.61	0.206	0.130	0.035	0.002	101.14
75	1210.3	59.98	36.35	0.017	0.017	34.84	0.490	29.29	0.176	0.153	0.032	0.008	101.37
76	1210.3	67.24	37.12	0.015	0.115	29.23	0.398	33.65	0.761	0.172	0.032	0.058	101.54
77	1210.3	64.31	36.83	0.010	0.020	31.62	0.453	31.96	0.265	0.113	0.032	0.008	101.31
78	1210.3	60.10	36.18	0.022	0.013	34.73	0.480	29.35	0.197	0.099	0.036	0.005	101.11
79	1212.5	67.79	37.38	0.020	0.018	28.96	0.419	34.18	0.201	0.129	0.031	0.011	101.35
80	1212.5	70.87	38.05	0.015	0.019	26.59	0.380	36.29	0.252	0.150	0.031	0.015	101.78
81	1212.5	68.08	37.67	0.015	0.015	28.94	0.419	34.63	0.173	0.148	0.032	0.011	102.05
82	1212.5	79.03	38.93	0.009	0.036	19.68	0.287	41.61	0.186	0.196	0.026	0.023	100.98
83	1212.5	70.95	37.88	0.012	0.028	26.49	0.383	36.28	0.166	0.178	0.032	0.015	101.46
84	1212.5	65.43	36.90	0.037	0.020	30.53	0.439	32.41	0.173	0.165	0.031	0.003	100.70
85	1212.5	75.73	38.14	0.013	0.086	22.18	0.304	38.81	1.131	0.205	0.027	0.231	101.12
86	1212.5	73.31	37.88	0.017	0.037	24.35	0.369	37.52	0.261	0.164	0.027	0.024	100.64
87	1212.5	71.74	37.64	0.035	0.022	25.61	0.379	36.47	0.236	0.148	0.030	0.016	100.59
88	1212.5	67.56	37.40	0.016	0.046	29.00	0.417	33.89	0.477	0.159	0.031	0.031	101.47
89	1212.5	68.92	37.28	0.019	0.006	28.01	0.399	34.83	0.242	0.167	0.032	0.005	100.99
90	1212.5	78.78	38.76	0.012	0.024	19.80	0.300	41.24	0.167	0.195	0.026	0.014	100.54
91	1213.7	74.52	37.97	0.032	0.022	23.34	0.341	38.29	0.210	0.185	0.027	0.013	100.43
92	1213.7	72.98	38.08	0.014	0.020	24.79	0.370	37.55	0.231	0.181	0.029	0.011	101.27
93	1213.7	73.81	38.10	0.014	0.042	23.81	0.344	37.63	0.464	0.182	0.028	0.038	100.65
94	1213.7	70.03	37.49	0.013	0.027	27.06	0.388	35.47	0.215	0.179	0.029	0.015	100.88
95	1213.7	71.93	37.67	0.032	0.033	25.49	0.375	36.63	0.192	0.182	0.032	0.023	100.65
96	1215	80.77	38.69	0.011	0.036	18.00	0.262	42.40	0.198	0.232	0.025	0.030	99.88
97	1215	77.49	38.22	0.008	0.032	20.80	0.303	40.15	0.248	0.195	0.030	0.037	100.03
98	1215	70.99	37.21	0.013	0.036	26.10	0.380	35.83	0.267	0.165	0.030	0.034	100.07
99	1215	72.84	37.52	0.009	0.024	24.73	0.361	37.20	0.200	0.163	0.030	0.021	100.26
100	1215	73.48	37.90	0.012	0.059	24.24	0.331	37.68	0.344	0.181	0.027	0.070	100.85
101	1215	74.77	37.94	0.011	0.027	23.21	0.321	38.58	0.192	0.184	0.031	0.012	100.51
102	1215	67.40	37.51	0.009	0.064	29.34	0.408	34.03	0.881	0.139	0.027	0.044	102.45
103	1215	78.68	39.16	0.019	0.020	20.10	0.307	41.59	0.190	0.179	0.027	0.025	101.61
104	1215	75.76	38.85	0.009	0.036	22.66	0.334	39.71	0.255	0.191	0.029	0.047	102.13
105	1215	72.90	38.29	0.008	0.051	24.98	0.347	37.69	0.473	0.179	0.026	0.092	102.14
106	1215	65.72	37.48	0.011	0.018	30.84	0.455	33.15	0.219	0.147	0.031	0.009	102.36
107	1217	68.02	37.46	0.024	0.020	28.58	0.411	34.09	0.210	0.206	0.032	0.003	101.04
108	1217	63.68	36.95	0.029	0.018	31.91	0.455	31.38	0.180	0.169	0.034	0.002	101.13
109	1217	74.18	38.03	0.024	0.018	23.66	0.358	38.13	0.200	0.189	0.028	0.012	100.65
110	1217	78.08	38.64	0.015	0.039	20.37	0.311	40.70	0.080	0.222	0.027	0.008	100.41
111	1217	76.87	38.65	0.011	0.019	21.45	0.317	39.98	0.140	0.224	0.028	0.018	100.84
112	1217	77.38	38.57	0.013	0.017	21.01	0.316	40.31	0.110	0.217	0.027	0.012	100.60

Таблица 2. Окончание

№п/п	Н, м	Fo	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	NiO	CoO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма
113	1217	66.25	37.27	0.012	0.035	29.89	0.424	32.91	0.230	0.195	0.033	0.004	101.00
114	1217	67.01	37.29	0.037	0.020	29.38	0.428	33.48	0.150	0.196	0.031	0.004	101.01
115	1217	68.01	37.48	0.011	0.031	28.55	0.411	34.05	0.250	0.204	0.031	0.016	101.04
116	1217	71.76	37.85	0.013	0.028	25.61	0.374	36.51	0.230	0.212	0.029	0.016	100.87
117	1217	67.52	37.48	0.016	0.042	29.15	0.428	33.99	0.190	0.206	0.033	0.009	101.54
118	1217	65.89	37.31	0.021	0.034	30.28	0.438	32.81	0.230	0.211	0.034	0.007	101.37
119	1232	74.18	37.63	0.013	0.054	23.45	0.339	37.78	0.662	0.156	0.030	0.019	100.13
120	1232	76.14	38.11	0.027	0.013	22.03	0.326	39.42	0.213	0.164	0.030	0.007	100.33
121	1232	74.43	37.72	0.039	0.029	23.42	0.355	38.24	0.158	0.156	0.031	0.000	100.15
122	1232	72.91	37.67	0.032	0.017	24.71	0.369	37.31	0.179	0.161	0.033	0.001	100.48
123	1232	72.58	37.52	0.035	0.028	24.95	0.378	37.04	0.185	0.163	0.033	0.000	100.34
124	1232	73.01	37.64	0.028	0.023	24.55	0.367	37.25	0.178	0.156	0.033	0.002	100.24
125	1232.8	76.73	38.30	0.016	0.029	21.56	0.319	39.87	0.236	0.235	0.029	0.013	100.60
126	1232.8	73.91	37.85	0.034	0.018	23.95	0.342	38.06	0.162	0.260	0.033	0.000	100.71
127	1232.8	75.96	38.08	0.026	0.018	22.13	0.325	39.22	0.230	0.224	0.030	0.003	100.29
128	1232.8	77.23	38.31	0.028	0.031	21.06	0.315	40.06	0.184	0.219	0.029	0.006	100.24
129	1232.8	77.91	38.25	0.018	0.037	20.48	0.310	40.51	0.175	0.180	0.028	0.019	100.00
130	1232.8	75.58	38.25	0.025	0.014	22.61	0.339	39.25	0.176	0.184	0.030	0.001	100.88
131	1232.8	77.19	38.37	0.025	0.022	21.11	0.314	40.08	0.191	0.217	0.028	0.008	100.37
132	1232.8	76.02	37.47	0.011	0.027	21.92	0.328	38.98	0.161	0.185	0.032	0.006	99.11
133	1232.8	75.53	37.51	0.021	0.031	22.33	0.327	38.66	0.250	0.191	0.030	0.005	99.35
134	1232.8	75.88	37.64	0.013	0.031	22.03	0.323	38.87	0.248	0.181	0.030	0.008	99.38
135	1232.8	78.18	38.15	0.011	0.027	20.20	0.303	40.59	0.202	0.179	0.027	0.033	99.72
136	1232.8	76.41	37.91	0.017	0.042	21.69	0.326	39.41	0.214	0.178	0.029	0.009	99.83
137	1232.8	78.12	38.15	0.014	0.046	20.17	0.295	40.38	0.314	0.222	0.028	0.030	99.64
138	1232.8	76.63	37.80	0.013	0.083	21.14	0.289	38.89	1.211	0.213	0.025	0.117	99.78
139	1233.1	74.01	38.14	0.020	0.024	23.65	0.340	37.77	0.210	0.212	0.033	0.006	100.40
140	1233.1	75.08	38.27	0.031	0.020	22.77	0.335	38.48	0.210	0.203	0.032	0.006	100.35
141	1233.1	76.89	38.57	0.018	0.021	21.29	0.317	39.74	0.220	0.200	0.031	0.005	100.41
142	1233.1	78.03	38.83	0.012	0.028	20.44	0.300	40.71	0.250	0.170	0.029	0.023	100.80
143	1233.1	76.88	38.77	0.016	0.028	21.43	0.320	39.96	0.190	0.183	0.032	0.008	100.94
144	1233.1	78.70	38.73	0.012	0.025	19.76	0.292	40.95	0.290	0.202	0.027	0.026	100.32
145	1233.1	77.84	38.87	0.014	0.038	20.55	0.305	40.49	0.250	0.198	0.030	0.028	100.77
146	1236	76.86	38.75	0.011	0.032	21.34	0.314	39.76	0.300	0.229	0.029	0.014	100.78
147	1236	77.27	38.68	0.018	0.044	20.98	0.307	40.01	0.230	0.223	0.029	0.019	100.54
148	1236	77.04	39.00	0.020	0.019	21.30	0.315	40.10	0.200	0.207	0.028	0.005	101.19
149	1236	75.31	38.33	0.034	0.018	22.63	0.332	38.71	0.160	0.241	0.031	0.003	100.49
150	1236	75.47	38.66	0.027	0.011	22.57	0.331	38.95	0.150	0.257	0.031	0.001	100.98
151	1236	77.83	38.77	0.030	0.017	20.56	0.307	40.49	0.120	0.206	0.029	0.012	100.54
152	1236	77.24	38.64	0.02	0.03	21.00	0.31	39.98	0.23	0.21	0.03	0.01	100.46
153	1246.4	78.02	39.17	0.011	0.012	20.55	0.337	40.92	0.260	0.127	0.022	0.004	101.41
154	1246.4	79.40	39.50	0.010	0.006	19.44	0.320	42.02	0.280	0.128	0.021	0.005	101.73
155	1246.4	79.56	39.38	0.017	0.027	19.33	0.316	42.19	0.310	0.127	0.021	0.005	101.72
156	1246.4	78.36	39.28	0.016	0.015	20.31	0.323	41.25	0.290	0.126	0.022	0.004	101.63
157	1246.4	79.71	39.23	0.012	0.024	19.05	0.312	41.98	0.290	0.124	0.024	0.008	101.05
158	1246.4	79.56	39.49	0.017	0.019	19.23	0.313	41.99	0.250	0.124	0.021	0.007	101.46
159	1246.4	79.79	39.07	0.021	0.018	18.96	0.314	41.99	0.230	0.125	0.022	0.007	100.76
160	1246.4	79.87	39.29	0.018	0.032	18.99	0.310	42.27	0.210	0.119	0.022	0.004	101.27
161	1246.4	78.38	38.91	0.010	0.005	20.15	0.333	40.97	0.240	0.121	0.023	0.005	100.76
162	1246.4	79.95	39.30	0.014	0.030	18.86	0.311	42.19	0.290	0.123	0.022	0.007	101.15
163	1246.4	77.47	38.68	0.016	0.027	20.91	0.342	40.32	0.290	0.119	0.023	0.004	100.73
164	1246.4	79.92	39.37	0.017	0.057	18.90	0.308	42.20	0.300	0.123	0.023	0.004	101.30
165	1246.4	79.72	39.16	0.014	0.026	19.02	0.312	41.95	0.290	0.121	0.023	0.004	100.92

Примечания: Н, м - глубина в метрах по скв. МД-48; Fo, мол.% – мольная доля форстерита в оливине; № п/п, оливины из горизонтов габбро-долеритов: 1-13 – верхних пикритовых, 17-78 – оливинсодержащих, 79-145 – оливиновых, 146-165 – нижних пикритовых.

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ И СОСТАВ

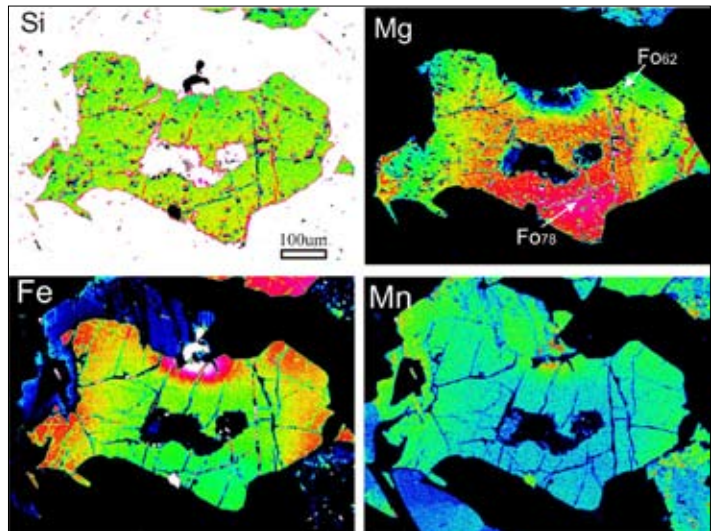
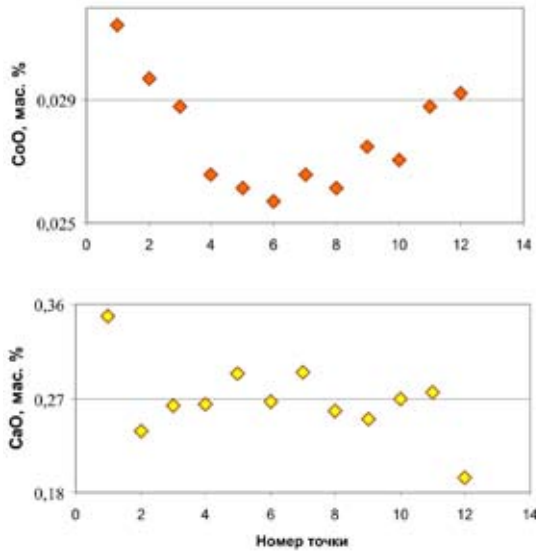


Рис. 4. Распределение главных и примесных элементов в одном из зональных зерен оливина (образец МД-48/1193).

Рис. 5. Карты распределения SiO<sub>2</sub>, MgO, FeO и MnO в зональном зерне оливина (образец МД-48/1193).

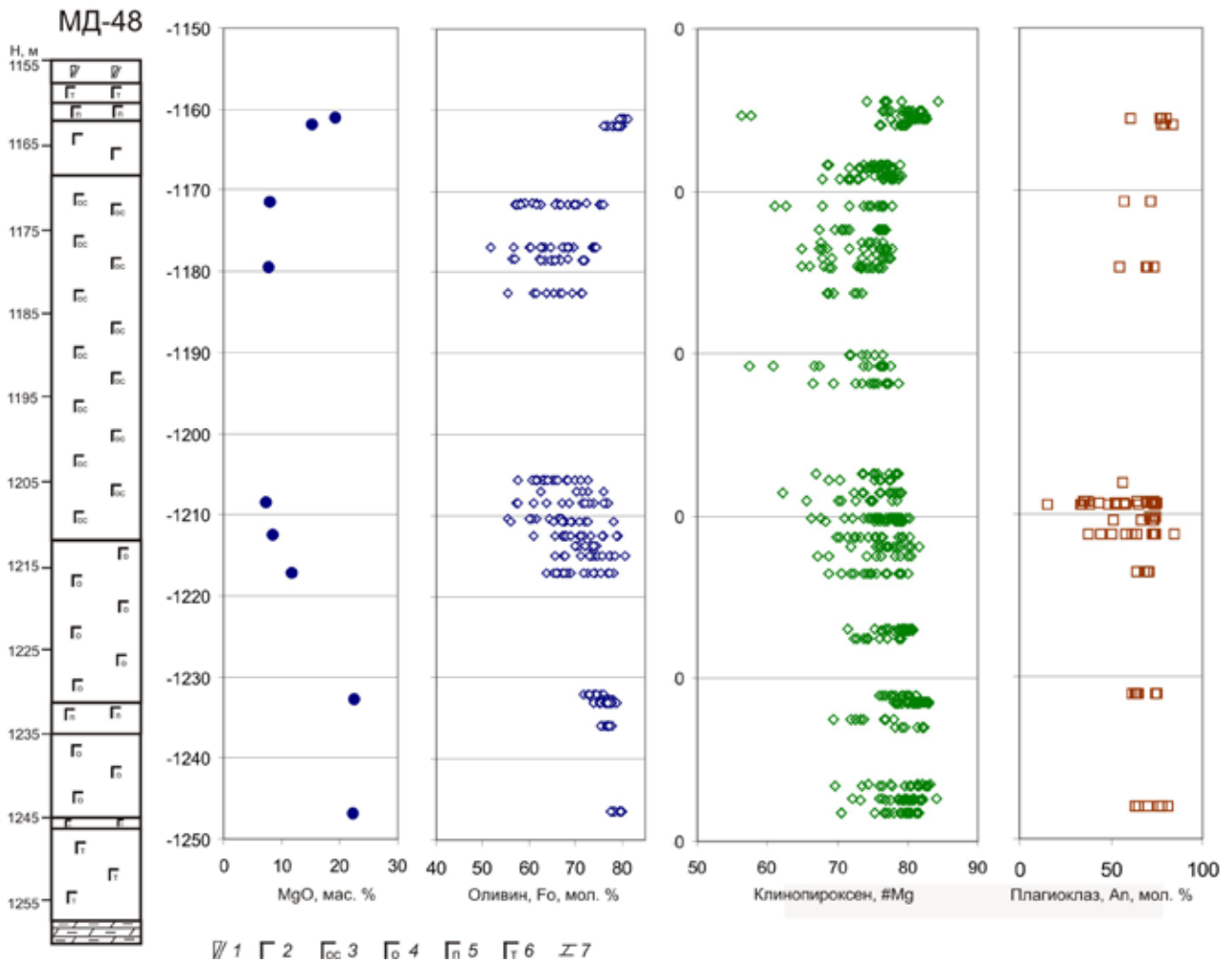


Рис. 6. Закономерности изменения магнезиальности пород, составов оливинов и пироксенов по разрезу скв. МД-48

нижней части массива, где появляется сульфидная вкрапленность наблюдается обратная картина – устанавливается закономерное возрастание концентраций никеля с ростом железистости оливина. В результате на диаграмме NiO-Fo можно видеть 2 противоположно направленных тренда (рис. 7). Обогащение никелем оливина нижних горизонтов, вероятно, является результатом длительного равновесия минерала с сульфидным расплавом, при котором происходит перераспределение никеля из сульфидного расплава в минерал. Аналогичная тенденция наблюдается и для других рудоносных массивов Норильского района. Следует подчеркнуть, что в верхних пикритовых горизонтах такой закономерности не наблюдается, для оливинов из этого горизонта характерен свой собственный тренд. Несмотря на высокую магнезиальность, они являются довольно низконикелевыми по сравнению даже с аналогичными оливинами из оливиновых габбро-долеритов.

Концентрации кальция сильно варьируют в изученных оливинах (от 0.08 до 0.42 мас.%, рис. 8А) и не обнаруживают корреляции с главными элементами. Вполне возможно, что это объясняется тем, что происходит его перераспределение с окружающим его клинопироксеном. Содержания марганца показывают прямую пропорциональную зависимость от содержаний железа в оливине (рис. 8Б).

*Плаггиоклаз* в преобладающем типе рассмотренных пород является самой ранней ликвидусной фазой (единственной, или устанавливается его котектическая кристаллизация с оливином). По внутреннему строению наблюдается его сходство с оливином: в пикритовых габбро-долеритах: он представлен крупными таблитчатыми гомогенными кристаллами, а в оливиновых и оливинсодержащих разновидностях – зональными лейстовидными кристаллами.

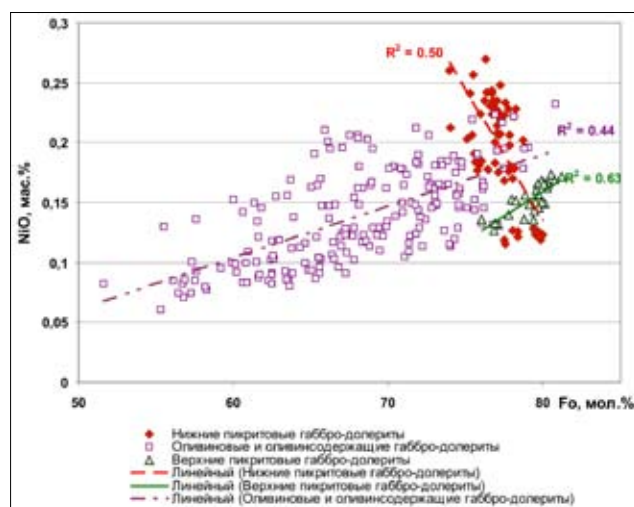


Рис. 7. Диаграмма NiO – Fo для оливинов Микчангдинского массива

Состав его также меняется как и состав оливина: в пикритовых габбро-долеритах анортитовая составляющая равна 78–80 мол. %, в то время как в оливинсодержащих разновидностях пород разница между центром и периферией зерна может составлять 22–24 и даже 30 номеров (например, табл. 3, № 28–29, 40–41, 36–37 – выделено жирным шрифтом в таблице).

*Пироксен* установлен в породах в виде двух разновидностей – моноклинного и ромбического. Первый существенно доминирует в породах и образует пойкилитовые зерна, в которые часто включены кристаллы плаггиоклаза и/или оливина. Состав его закономерно меняется по разрезу интрузива (рис. 6), причем наиболее магнезиальные зерна устанавливаются в пикритовых габбро-долеритах, при этом их Mg#=80 равна магнезиальности оливина в этих породах. Но в целом магнезиальность пироксена в породах массива (в оливиновых и оливинсодержащих габбро-долеритах) выше, чем таковая оливинов. Для пироксенов, как и для оливинов, также типична контрастная зональность, при которой краевые части зерен отличаются от центральных по магнезиальности на 16 единиц (табл. 4, № 28–29, для примера составы некоторых зерен выделены жирным шрифтом). Главными примесными элементами в клинопироксенах являются титан и хром. Содержания TiO<sub>2</sub> достигают 1.68 мас. %, а Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0.63 мас. %.

Ортопироксен встречается чаще всего в виде кайм вокруг оливина, его магнезиальность

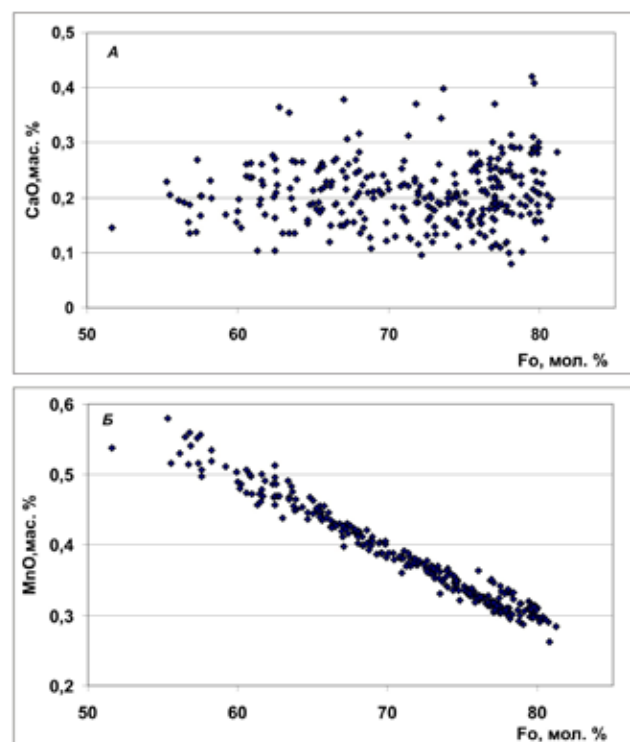


Рис. 8. Диаграммы CaO – Fo (А) и MnO – Fo (Б) для оливинов Микчангдинского массива.

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ И СОСТАВ

Таблица 3. Состав плагиоклаза, мас.%

№ п/п	№ обр.	An	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	K <sub>2</sub> O	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма
1	1161_1a-1c-Pl-1	58.58	52.46	4.81	12.28	0.18	0.73	30.07	100.53
2	1161_1a-1c-Pl-2	<b>74.98</b>	48.74	2.86	15.48	0.10	0.83	32.53	100.53
3	1161_1a-1c-Pl-3	<b>76.45</b>	48.04	2.66	15.62	0.22	0.89	32.66	100.08
4	1161_1a-1c-Pl-4	<b>79.32</b>	47.16	2.35	16.31	0.07	0.93	33.49	100.32
5	1161_9-2k-Pl-1	<b>82.53</b>	34.12	1.53	13.04	0.11	1.02	23.19	73.00
6	1161_9-2k-Pl-2	<b>78.53</b>	47.47	2.42	16.01	0.11	1.06	33.50	100.56
7	1161_9-2k-Px-4	<b>76.63</b>	47.81	2.67	15.82	0.09	0.77	33.17	100.32
8	1171_4b-2c-Pl-1	69.96	49.39	3.44	14.47	0.12	1.02	32.37	100.79
9	1171_4b-2c-Pl-2	69.61	49.67	3.49	14.43	0.12	0.82	31.91	100.43
10	1171_4b-2-Pl-3	55.38	52.87	5.19	11.64	0.23	0.92	29.57	100.42
11	1179_5a-2k-Pl-1	67.91	50.51	3.67	14.03	0.14	0.85	31.17	100.36
12	1179_5a-3k-Pl-3	68.01	50.26	3.68	14.14	0.14	1.00	31.51	100.72
13	1179_5a-3k-Pl-3k	52.71	53.90	5.55	11.17	0.15	1.26	29.22	101.25
14	1179-5a-3k-Pl-4	71.39	49.36	3.28	14.77	0.12	0.84	32.01	100.37
15	11179-5a-5-Pl-4	47.04	55.35	6.34	10.18	0.23	1.10	28.06	101.26
16	1206-pl-3k	54.10	53.95	5.32	11.32	0.26	0.97	28.85	100.67
17	1208_4k-Pl-4a	70.64	49.71	3.35	14.54	0.12	0.91	32.03	100.66
18	1208_4k-Pl-5k	33.64	59.41	7.66	7.01	0.59	0.58	26.00	101.25
19	1208_4k-Pl-3	72.27	49.64	3.15	14.84	0.10	0.58	32.12	100.43
20	1208_4k-Pl-2	62.53	52.02	4.29	12.93	0.18	0.75	30.33	100.49
21	1208_5a-4k-Pl-1	71.23	49.68	3.30	14.77	0.12	0.65	32.07	100.58
22	1208_4k-Pl-5a	68.08	50.22	3.64	14.03	0.16	0.84	31.33	100.22
23	1208_4k-Pl-6	36.03	58.62	7.35	7.47	0.56	0.50	26.17	100.67
24	1208-Pl-6a	71.90	49.67	3.21	14.84	0.12	0.56	31.95	100.34
25	1208_7-Pl-4-1c	14.19	64.42	10.01	2.99	0.78	0.53	22.99	101.73
26	1208_7-4-2	32.35	59.13	7.82	6.76	0.36	0.76	26.03	100.86
27	1208-7-Pl-4-3k	62.43	50.84	4.27	12.82	0.18	1.02	30.85	99.99
28	1208_7-Pl-5	<b>72.52</b>	48.79	3.14	14.99	0.10	0.77	32.57	100.36
29	1208_7-Pl-5k	<b>50.57</b>	53.87	5.83	10.77	0.26	0.95	28.72	100.40
30	1208_7-Pl-6	56.10	52.51	5.18	11.97	0.21	0.99	30.06	100.92
31	1208_7-Pl-6k	31.04	58.99	8.22	6.69	0.58	0.68	26.03	101.18
32	1208_7-Pl-7c	<b>71.83</b>	49.21	3.20	14.76	0.11	0.77	32.31	100.35
33	1208_7-Pl-7k	<b>72.62</b>	49.15	3.11	14.88	0.12	0.76	32.32	100.33
34	1208_7-Pl-8c	35.85	57.95	7.55	7.63	0.47	0.76	26.60	100.94
35	1208_7-Pl-8k	46.35	58.59	4.96	7.74	0.42	0.78	26.69	99.18
36	1208_5b-9m-Pl-1	<b>70.86</b>	49.69	3.34	14.68	0.14	0.87	31.94	100.65
37	1208_5b-9m-Pl-1x	<b>40.92</b>	57.20	6.89	8.62	0.41	0.82	27.24	101.19
38	1208_5a-9m-Pl-2	67.96	50.49	3.68	14.09	0.16	0.99	31.40	100.81
39	1208_5a-9m-Pl-4	49.44	55.15	5.74	10.15	0.28	1.11	28.31	100.74
40	1208_5a-9m-Pl-3	<b>70.72</b>	49.74	3.35	14.59	0.13	0.81	31.66	100.29
41	1208_5a-9m-Pl-3k	<b>54.63</b>	53.61	5.34	11.61	0.23	0.97	29.23	100.99
42	1208_5a-5-Pl-1	71.00	49.80	3.33	14.75	0.12	0.83	32.01	100.84
43	1208-5a-5-Pl-2	72.52	49.32	3.14	14.98	0.10	0.72	32.19	100.45
44	1208-5a-5-Pl-3c	73.98	48.99	2.93	15.03	0.11	0.83	32.27	100.14
45	48-1208-5a-5-Pl-4	72.81	49.15	3.11	15.02	0.09	0.91	32.22	100.50
46	48-1210_7b-Pl-1	71.52	49.45	3.26	14.80	0.13	0.68	32.42	100.74
47	48-1210_7b-Pl-2	72.01	49.28	3.20	14.85	0.12	0.82	32.55	100.82
48	48-1210_7b-Pl-3	65.09	50.86	4.00	13.47	0.15	0.65	31.00	100.14
49	48-1210_7b-Pl-4	49.13	55.19	5.82	10.15	0.32	0.78	28.49	100.75
50	48-1210_7b-Pl-5	65.19	50.72	4.01	13.58	0.14	0.58	31.15	100.19
51	48-1210_3-Px-3	71.59	49.57	3.26	14.86	0.13	0.76	32.17	100.74
52	48-1210_3-Pl-1	70.91	49.47	3.33	14.67	0.11	0.91	31.85	100.35
53	48-1210_3-Pl-2	69.94	49.57	3.43	14.41	0.15	1.02	31.96	100.53
54	48-1210_3-Pl-3	72.70	48.87	3.08	14.81	0.12	0.73	32.09	99.71
55	48-1210_3-Pl-4	72.71	49.06	3.11	14.97	0.13	0.80	32.16	100.24
56	1212_5b-7c-c-Pl-1	72.11	49.09	3.19	14.89	0.10	0.73	32.38	100.38

Таблица 3. Окончание

№ п/п	№ обр.	An	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	K <sub>2</sub> O	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма
57	1212_5b-7-Pl-1k	<b>35.54</b>	58.36	7.58	7.55	0.53	0.83	26.30	101.14
58	48-1212_5b-7-Pl-2c	47.75	54.85	6.15	10.15	0.33	0.94	28.40	100.80
59	48-1212_5b-7-Pl-3	42.17	56.19	6.77	8.92	0.41	0.88	27.58	100.73
60	1215_b_pl-1	71.96	48.98	3.18	14.73	0.13	0.71	32.45	100.17
61	1215_b_pl-2	71.51	48.51	3.25	14.75	0.10	0.61	32.59	99.81
62	1215_b_pl-3	72.84	48.29	3.08	14.92	0.12	0.79	32.54	99.74
63	1215_b_pl-4	62.43	50.86	4.31	12.95	0.19	0.72	30.93	99.96
64	1215_a_pl-1	71.97	49.30	3.19	14.78	0.11	0.87	31.97	100.21
65	1215_a_pl-2c	<b>83.50</b>	46.64	1.84	16.86	0.07	0.40	33.95	99.76
66	1215_a_pl-2k	<b>59.75</b>	52.43	4.65	12.48	0.20	0.71	29.80	100.28
67	1215_a_pl-3k	72.06	48.49	3.18	14.83	0.10	0.60	31.74	98.95
68	1215_a_pl-3kk	56.05	53.48	4.83	11.13	0.23	0.72	28.58	98.98
69	1217_a_pl-1	67.21	50.65	3.75	13.87	0.13	0.66	31.25	100.31
70	1217_a_pl-2	69.80	49.53	3.36	14.04	0.10	1.06	31.41	99.50
71	1217_a_pl-3	68.31	50.43	3.62	14.09	0.14	0.72	31.29	100.28
72	1217_a_px-5	97.96	51.89	0.21	18.33	0.02	9.05	3.38	82.88
73	1217_a_pl-4	62.47	51.96	4.29	12.89	0.19	0.76	30.21	100.29
74	1232_b_pl-1	73.70	48.81	3.00	15.16	0.13	0.67	32.60	100.36
75	1232_b_pl-2	59.65	52.33	4.61	12.32	0.21	0.64	30.11	100.21
76	1232_b_pl-3	61.39	51.54	4.48	12.88	0.20	0.72	30.40	100.22
77	1232_b_pl-4	72.98	48.57	3.08	15.05	0.11	0.77	32.61	100.20
78	1232_8g-5k-Pl-1k	61.53	51.78	4.42	12.77	0.20	0.87	30.39	100.43
79	1232_8g-5k-Pl-2	63.01	51.31	4.22	12.99	0.19	0.83	30.62	100.16
80	1232_8g-5k-Pl-3	73.56	48.62	3.00	15.09	0.13	0.94	32.57	100.34
81	1232_8g-5k-Pl-4	61.60	51.54	4.44	12.86	0.24	0.90	30.60	100.58
82	1246_4-3k-Pl-1	76.14	47.87	2.71	15.64	0.08	1.04	33.27	100.62
83	1246_4-3k-Pl-1c	63.00	50.96	4.21	12.96	0.14	0.92	30.84	100.03
84	1246_4-3k-Pl-1k	67.75	49.78	3.69	14.00	0.11	0.79	31.77	100.13
85	1246_4-3k-Pl-2	<b>74.16</b>	48.30	2.95	15.29	0.07	0.89	32.86	100.35
86	1246_4-3k-Pl-2k	<b>79.91</b>	46.94	2.26	16.25	0.06	0.95	33.61	100.08
87	1246_4-3k-Pl-3	61.16	51.97	4.48	12.76	0.14	0.96	30.51	100.82

существенно ниже, чем магнезиальность клинопироксена (табл. 3, № 66–72), максимальные ее значения составляет 62.72 в минерале из оливиновых габбродолеритов, а в пикритовых разновидностях  $Mg \# = 76-77$ .

Среди второстепенных минералов в породах, особенно в наиболее магнезиальных их разновидностях, присутствует хроммагнетит и ильменит.

#### УСЛОВИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МИКЧАНГДИНСКОГО МАССИВА

Для определения условий образования зональных оливинов проведено ЭВМ-моделирование процесса равновесной кристаллизации с помощью программы COMAGMAT-3.65 (<http://geo.web.ru/~ariskin/soft.html?id=comagmat.htm>) для серии образцов, отобранных по разрезу. Здесь приводятся результаты для одного из них – МД-48/1208. Порода состоит из оливина (до 10 мас. %), плагиоклаза (35–40 мас. %), клинопироксена (25–30 мас. %), небольшого количества ортопироксена (2–3 %) и титаномагнетита. Рас-

четы выполнены при давлении 1 кбар (поскольку глубина формирования пород не превышала 1200 м), содержание воды было оценено по элементу близкой совместимости – концентрации K<sub>2</sub>O в породе и принято равным 0.4 мас. %. Фугитивность кислорода соответствовала NNO-0.5 и контролировалась сопоставлением расчетных данных с реальным порядком кристаллизации в породе, в частности по появлению ильменита и магнетита в них.

Согласно результатам моделирования начало кристаллизации было связано с появлением на ликвидусе плагиоклаза An<sub>80.4</sub> при T=1197°C, к которому практически сразу присоединился оливин Fo<sub>80.2</sub> (T=1184°C). При снижении температуры до 1135°C началась кристаллизация авгита (En<sub>43.4</sub> Fs<sub>14.6</sub> Wo<sub>41.0</sub>), затем магнетита (T=1083°C) и ортопироксена (T=1066°C). Измеренный в данном образце наиболее магнезиальный оливин (из 12 зерен) – Fo<sub>78.2</sub>, однако существует потенциальная вероятность обнаружения в породе минерала с более высоким содержанием форстеритовой составляющей при более детальном исследовании. Кроме того, не исключена возможность ча-

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ И СОСТАВ

Таблица 4. Состав пироксенов, мас. %

№ п/п	№ обр.	Mg#	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NiO	Сумма
1	1161_1a-1c-Px-1	80.98	51.26	1.67	3.27	6.85	0.19	16.36	20.32	0.382	0.114	0.033	100.43
2	1161_9-2k-Px1	80.26	51.98	0.65	3.25	7.79	0.22	17.77	17.77	0.307	0.633	0.02	100.40
3	48-1161_9-2k-Px2	78.62	51.57	0.80	3.10	8.54	0.24	17.62	17.68	0.243	0.373	0.018	100.18
4	1161_9-2k-Px3	80.34	51.71	0.62	3.39	7.46	0.21	17.10	19.31	0.227	0.267	0.028	100.33
5	1167_b_px-1	78.57	51.22	0.72	3.53	8.00	0.23	16.46	19.86	0.198	0.318	0.034	100.57
6	1167_b_px-1k	70.37	51.02	0.95	2.83	12.05	0.33	16.05	17.49	0.201	0.015	0.055	100.99
7	1167_b_px-2	78.72	51.77	0.63	3.07	7.96	0.22	16.51	19.89	0.193	0.274	0.044	100.56
8	1167_b_px-2k	73.77	51.75	0.72	2.68	10.23	0.29	16.14	18.64	0.206	0.023	0.05	100.73
9	1171-Px-2	60.14	50.66	0.86	2.25	17.35	0.47	14.68	14.04	0.162	0.014	0.001	100.49
10	1179_5a-3-Px-2izm	62.88	50.24	1.20	2.67	14.28	0.37	13.57	17.93	0.208	0.006	0.014	100.48
11	1179_5b-2k-Px	73.88	51.26	0.70	3.29	10.61	0.29	16.83	17.55	0.2	0.162	0.014	100.89
12	1179_5b-Px-2	74.60	51.27	0.67	3.28	10.28	0.29	16.93	17.40	0.2	0.212	0.015	100.56
13	48-1179_5b-Px-3	66.27	50.17	0.91	3.03	13.69	0.34	15.08	16.92	0.231	0.012	0.003	100.38
14	1179_5a-3k-Px-6	67.04	50.05	1.06	3.37	12.84	0.32	14.65	18.07	0.272	0.036	0.018	100.69
15	1179_5a-3k-Px-7	74.74	51.20	0.71	3.31	9.56	0.25	15.88	19.32	0.206	0.226	0.023	100.68
16	1208-5a-4k-Px-1	76.46	52.04	0.65	3.21	9.48	0.30	17.27	17.79	0.187	0.199	0.019	101.14
17	1208-5a-4k-Px-1k	67.96	51.72	0.83	2.24	13.26	0.37	15.77	16.88	0.217	0.001	0.016	101.30
18	1208_5a-4k-Px-2	78.61	51.31	0.75	3.75	8.02	0.21	16.54	19.59	0.165	0.366	0.035	100.73
19	1208_5a-Px-3	79.12	50.88	0.79	4.24	7.56	0.20	16.06	19.93	0.197	0.553	0.015	100.43
20	1208_4k-Px-4c	78.05	52.98	0.47	2.20	8.80	0.26	17.55	18.65	0.141	0.12	0.036	101.21
21	1208_5a-4k-Px-4k1	68.90	51.20	0.94	2.82	12.57	0.35	15.62	17.42	0.244	0.017	0.022	101.20
22	1208_5v-7-Px-1k	66.37	49.82	1.46	3.22	12.97	0.35	14.35	17.56	0.324	0.007	0.03	100.09
23	1208_5b-7-Px-2k	66.22	50.94	0.92	2.39	13.12	0.36	14.43	17.74	0.291	0.011	0.018	100.23
24	1208_5a-9m-Px-1	71.31	51.42	0.87	3.02	11.32	0.29	15.78	18.08	0.211	0.047	0.033	101.07
25	1208_5a-5m-Px-1	79.30	52.91	0.50	2.24	8.14	0.21	17.48	19.00	0.171	0.093	0.038	100.78
26	1208-5a-5-Px2	77.47	53.01	0.44	2.06	9.17	0.27	17.70	17.81	0.151	0.161	0.025	100.79
27	1210_7b_Px-1	77.07	51.57	0.69	3.31	8.76	0.24	16.52	19.15	0.198	0.136	0.008	100.58
28	1210_7b_Px-2	<b>76.57</b>	51.88	0.65	2.95	9.03	0.25	16.56	19.20	0.198	0.142	0.026	100.88
29	1210_7b_Px-2k	<b>60.31</b>	52.99	0.40	1.63	15.35	0.46	13.08	17.92	0.327	0.16	0.022	102.35
30	1210_7b_Px-3	76.89	52.31	0.48	2.57	9.31	0.28	17.37	17.89	0.157	0.192	0.03	100.60
31	1210_7b_Px-3k	70.08	50.95	1.02	2.64	11.98	0.31	15.73	17.80	0.246	0.001	0.024	100.70
32	1210_3_Px-4	<b>79.43</b>	51.32	0.71	3.54	7.68	0.20	16.62	19.80	0.191	0.338	0.031	100.43
33	1210_3_Px-4k	<b>67.74</b>	52.69	0.17	0.96	11.45	0.29	13.49	21.14	0.2	0.008	0.029	100.42
34	1215_b_px-1	76.94	51.19	0.60	3.06	9.11	0.26	17.05	17.99	0.175	0.287	0.027	99.74
35	1215_b_px-1k	67.00	51.22	0.51	1.91	18.22	0.51	20.74	5.83	0.036	0.191	0.038	99.19
36	1215_b_px-2	77.25	51.93	0.48	2.22	9.02	0.29	17.17	18.65	0.182	0.167	0.034	100.13

Таблица 4. Окончание

№ п/п	№ обр.	Mg#	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NiO	Сумма
37	1215_b_px-2k	64.91	51.92	0.22	0.97	12.71	0.35	13.19	20.47	0.234	0.101	0.014	100.18
39	1215_a_px-1	74.06	50.10	0.71	3.70	10.47	0.27	16.77	17.18	0.198	0.232	0.028	99.66
40	1215_a_px-2	71.61	51.11	0.86	2.91	11.82	0.33	16.72	16.51	0.198	0.088	0.017	100.55
41	1225_b_ol-1	68.01	50.64	1.11	2.97	13.30	0.36	15.86	16.44	0.287	0.013	0.046	101.01
42	1217_a_px-1	75.41	52.30	0.70	2.63	10.36	0.31	17.82	16.84	0.183	0.071	0.025	101.23
43	1217_a_px-2	81.04	51.81	0.61	3.44	7.08	0.18	16.97	19.99	0.12	0.393	0.051	100.64
44	1217_a_px-3	81.61	51.59	0.60	3.74	6.68	0.18	16.63	20.42	0.125	0.687	0.04	100.68
45	1217_a_px-3	81.64	51.69	0.62	3.77	6.79	0.18	16.94	20.15	0.188	0.673	0.04	101.04
46	1217_a_px-4	79.14	52.67	0.60	3.10	8.52	0.25	18.13	18.06	0.158	0.325	0.055	101.86
47	1217_a_px-5	76.96	52.04	0.71	3.01	9.18	0.26	17.20	18.53	0.181	0.132	0.035	101.27
48	21232_b_px-1	80.89	51.42	0.71	2.96	7.20	0.20	17.10	19.59	0.216	0.209	0.035	99.64
49	1232_b_px-2	82.08	52.09	0.57	3.33	6.91	0.19	17.75	19.22	0.149	0.531	0.034	100.77
50	1232_b_px-3	76.86	53.61	0.87	1.68	14.68	0.35	27.36	2.39	0.007	0.202	0.049	101.20
51	1232_b_px-4	77.41	53.73	0.82	1.68	14.44	0.35	27.76	2.23	0.047	0.301	0.056	101.41
52	1232_b_px-5	77.11	53.74	0.79	1.76	14.59	0.33	27.56	2.32	0.025	0.182	0.051	101.35
53	1232_8g-5k-Px-1	82.48	52.88	0.60	2.26	6.70	0.18	17.70	19.61	0.185	0.217	0.031	100.35
54	1232_8g-5k-Px-2	80.25	52.60	1.14	2.26	7.84	0.21	17.87	18.54	0.211	0.086	0.034	100.79
55	1232_8g-5k-Px-3	83.14	52.94	0.48	2.21	6.44	0.18	17.80	19.67	0.178	0.27	0.05	100.20
56	1232_8g-5k-Px-4	80.69	52.43	1.23	2.11	7.58	0.21	17.76	19.08	0.278	0.031	0.051	100.75
57	1232_8g-5k-Px-5	81.12	51.80	0.69	2.91	7.32	0.20	17.63	18.34	0.219	0.329	0.035	99.47
59	1246_4-3k-Px-2	79.08	49.34	1.49	5.05	6.98	0.14	14.79	21.51	0.44	0.279	0.008	100.03
60	1246_4-3k-Px-3	<b>81.68</b>	51.69	0.98	3.01	6.34	0.14	15.84	21.60	0.365	0.043	0.018	100.02
61	1246_4-3k-Px-3k	<b>70.68</b>	48.88	1.80	4.31	10.45	0.26	14.13	19.36	0.454	0.501	0.022	100.16
62	1246_4-3k-Px-4	82.17	51.64	0.87	3.03	6.19	0.15	16.00	21.59	0.328	0.123	0.02	99.95
63	1246_4-3k-Px-4k	70.49	49.01	1.68	4.40	10.58	0.24	14.18	19.46	0.528	0.401	0.035	100.51
64	1246_4-3k-Px-5	<b>79.14</b>	49.19	1.59	5.02	6.88	0.14	14.65	21.63	0.429	0.129	0.017	99.66
65	1246_4-3k-Px-5k	<b>68.93</b>	48.04	1.61	4.90	10.98	0.28	13.66	19.14	0.452	0.203	0.036	99.29
66	1171_4b-2-Px-1	56.16	50.58	0.68	1.74	22.37	0.58	16.08	7.96	0.061	0.004	0.009	100.05
67	1179-5a-Px-2k	<b>53.30</b>	51.43	0.27	1.16	26.70	0.69	17.09	3.71	0.001	0.01	0.019	101.09
68	1179_5a-3k-Px-2	<b>59.13</b>	51.52	0.81	1.91	23.31	0.60	18.91	4.33	0.244	0.022	0.008	101.64
69	1208-5a-3k-Px-1	62.72	51.39	0.34	1.27	21.35	0.56	20.15	4.61	0.012	0.008	0.012	99.70
70	1208_5a-4k-Px-4k	46.17	51.29	0.16	0.93	31.70	0.60	15.25	1.91	0.08	0.011	0.022	101.95
71	1208_7-Px-3	47.18	50.59	0.38	0.78	30.45	0.85	15.26	1.69	0.06	0.02	0.029	100.10
72	1208_5a-110J-kaima-1	56.68	52.34	0.20	0.94	25.92	0.58	19.02	1.84	0.06	0.014	0.03	100.94

Примечание. Номер образца обозначает: первая цифра – глубина по скв. МД-48 в м, далее – номер зерна (к – крайняя часть, тот же номер без к – центр)



стичного переуравновешивания его с расплавом при падении температуры. Наблюдаемая зональность в одном из зерен оливина из этого образца (рис. 3) возникла при градиенте температуры всего в 64°C (1152-1088 °C,  $F_{0,75,4-63,2}$ ). Состав окружающих этот оливин зерен плагиоклазов ( $Ап_{70-72}$ ) очень близок расчетному ( $Ап_{70,5}$ ) при температуре формирования центральной части зерна (1152°C).

### ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенное изучение внутреннего строения, геохимии и минералогии Микчангдинского массива позволяет провести сопоставление его по этим параметрам с уникальными рудоносными массивами района – Талнахским и Норильск 1.

Изученный разрез Микчангдинского массива в данном сечении имеет большое сходство с разрезом интрузива Норильск 1 по скв. Г-22, рассмотренным в работах (Дистлер и др., 1999; Криволицкая, Рудакова, 2009; Туровцев, 2002). В обоих интрузивных телах (по указанным скважинам) наблюдаются высокомагнезиальные породы в верхней и нижних частях разрезов, представленные пикритовыми габбро-долеритами, в то время как центральные части сложены безоливиновыми, оливинсодержащими и оливиновыми габбро-долеритами, причем соотношения мощностей указанных горизонтов близки в обоих разрезах. Состав пород также очень сходен по главным компонентам и характеризуется особенностями, отмеченными выше (повышенные содержания железа, пониженные титана и калия). Что касается Талнахского интрузива, то верхние пикритовые габбро-долериты в нем – более редкое явление, наиболее типично нахождение пород с повышенным содержанием кремнезема в верхних частях массива – безоливиновых габбро-долеритов и габбро-диоритов (Криволицкая и др., 2001). Тем не менее, средневзвешенные составы, подсчитанные разными авторами для этих массивов, близки (табл. 5). Выполненный авторами расчет средневзвешенного состава Микчангдинского массива по скважине МД-48 показывает, что он характеризуется более высоким содержанием магния, чем Талнахский, что обусловлено именно присутствием пикритовых габбро-долеритов в его верхней части, однако сопоставим с таковым для Норильска 1. Естественно, что проведенные расчеты по одному лишь разрезу не соответствуют полностью средневзвешенному составу интрузива, поскольку они отражают соотношения дифференциатов только в конкретном сечении, в то время как их мощности могут существенно варьировать по простиранию. Поэтому наиболее

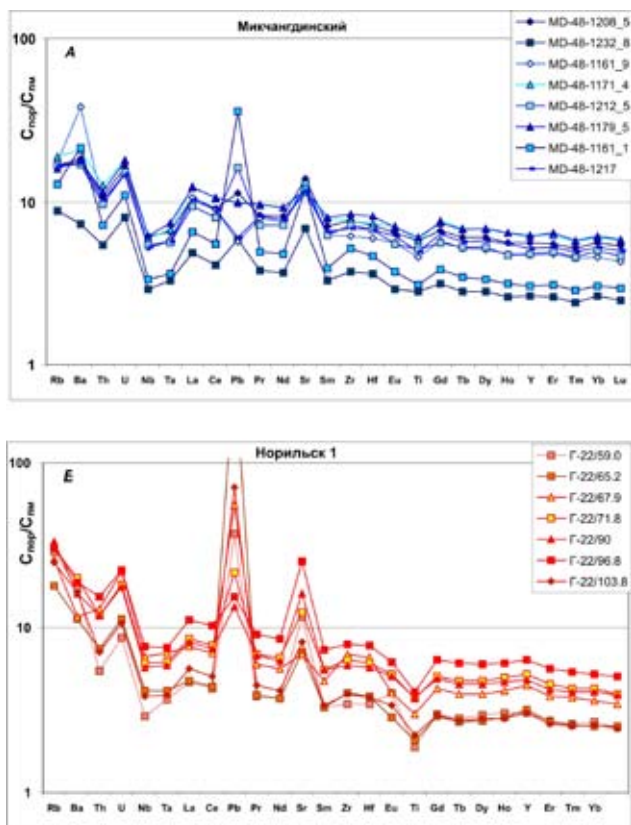
**Таблица 5.** Средневзвешенный состав интрузивов норильского комплекса

Массив	Микчангдинский	Норильск 1		Талнах	
Скважина	МД-48	Г-22	КЗ-1799	ОУГ-2	29 скв.
Компонент	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	47.71	47.16	47.47	48.76	48.3
TiO <sub>2</sub>	0.91	0.79	1.11	0.88	0.85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.30	15.36	14.11	14.9	15.33
FeO	12.66	12.17	12.33	11.08	12.34
MnO	0.18	0.20	0.22	0.2	0.19
MgO	13.42	12.04	11.54	10.52	10
CaO	9.47	10.60	10.22	10.04	10.45
Na <sub>2</sub> O	1.79	0.97	1.91	2.05	1.86
K <sub>2</sub> O	0.45	0.39	0.56	0.65	0.58
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10	0.09	0.12	0.18	0.2
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0.23	0.13	0.14	0.1

Примечания: данные 1 – настоящей статьи, 2 – Криволицкая, Рудакова, 2009; 3 – Czamanske et al., 1994; 4 – Криволицкая и др., 2001; 5 – Днепровская и др., 1985.

верными являются составы, полученные при использовании данных по нескольким сечениям. Именно такая работа была выполнена М.Б. Днепровской для 29 скважин Талнаха (Днепровская и др., 1987). Тем не менее, и приблизительные оценки, полученные на примере единичных скважин (при ограниченном фактическом материале) помогают сделать предварительные заключения о составе вновь обнаруженных массивов для отнесения их к тому или иному комплексу.

Близость к интрузивам норильского комплекса вскрытого скважиной МД-48 Микчангдинского массива устанавливается и при рассмотрении спектров распределения редких элементов, нормированных к примитивной мантии (Hofmann, 1988). На рис. 9А и 9Б обнаруживается близость топологии спектров для пород Микчангдинского массива и Норильска 1. Данные по содержаниям редких элементов для последнего взяты из работы (Криволицкая, Рудакова, 2009). В них проявлены одни и те же характерные особенности: наличие отрицательных Ta-Nb, Ti и положительных Pb и Sr аномалий при одинаковом уровне накопления редких элементов, а также общем наклоне спектров. Существенно более сильная свинцовая аномалия в породах Норильска 1 обусловлена присутствием большего количества сульфидов в породах. Некоторые отличия устанавливаются только в величинах аномалий титана и стронция, что может отражать некоторые вариации в минеральном составе пород (большее количество



**Рис. 9.** Спектры распределения редких элементов, нормированные к примитивной мантии (Нотманн, 1988). *А* – для пород Микчангдинского массива, *Б* – для пород интрузива Норильск 1. По вертикальной оси отложено отношение содержания элемента в породе к содержанию в примитивной мантии ( $C_{\text{пор}}/C_{\text{пм}}$ ).

стремительное внедрение магмы по системе вертикальных трещин и ее приповерхностное остывание. Мы не имеем точных сведений о морфологии массива, однако его мощность не могла превышать 100 м, а возможно, была существенно меньше за счет наклонного залегания интрузива. Во-вторых, дополнительным фактором быстрого охлаждения габброидов явилось внедрение расплава в непрогретые вмещающие породы, поскольку этот блок не был насыщен многочисленными интрузивными телами норильского комплекса, как это имело место в Хараелахской или Норильской мульдах, где локализованы крупные месторождения. В третьих, формирование интрузива происходило в пределах крупной палеоантиклинальной структуры – Хантайско-Рыбинского вала, где породы туфо-лавоваы толщи были маломощные, либо отсутствовали вообще. Таким образом, образование интрузива, вскрытого скв. МВ-48, произошло близко к палеоденудационной поверхности. Между тем, становление массивов внутри Норильской мульды осуществлялось уже во время (или сразу же после) образования базальтов.

титаномагнетита и плагиоклаза в некоторых разновидностях габбро-долеритов). В обоих случаях самими обедненными спектрами характеризуются пикритовые габбро-долериты – как верхние, так и нижние. В целом спектры очень близки к спектрам континентальной коры.

Составы породообразующих минералов Микчангдинского массива по главным компонентам и основным элементам-примесям (никелю и марганцу в оливинах, титану в пироксенах) очень близки к соответствующим составам минералов Талнаха и Норильска 1, приведенным в работах (Криволицкая и др., 2001; Туровцев, 2002). Оцененные температуры кристаллизации породообразующих минералов, порядок их появления на ликвидусе для оливиновых габбро-долеритов Микчангдинского массива сопоставимы с таковыми при кристаллизации магмы Талнахского интрузива (Криволицкая и др., 2001).

Однако наблюдаемая контрастная зональность в оливинах, пироксенах и плагиоклазах массива свидетельствует о том, что скорость остывания пород сильно превышала скорость остывания других интрузивов этого комплекса, распространенных в других частях района. Можно предположить, что это было обусловлено несколькими факторами. Во-первых, высокой скорости остывания массива способствовало структурное положение изученных габбро-долеритов, а именно их локализация в северном периклинальном обрамлении жесткого Хантайско-Рыбинского вала, где происходило

Указанное сочетание геологических факторов привело к появлению уникальных зональных оливинов в ультрабазит-базитовом интрузиве района. Обнаружение незональных или очень слабо зональных кристаллов оливина в пикритовых габбро-долеритах объясняется присутствием некоторого количества интрателлурической фазы в расплаве при его внедрении в камеру кристаллизации – оливина и, возможно, плагиоклаза. Именно длительность нахождения части кристаллов в магме, образовавшихся по мере ее продвижения к поверхности, способствовала переуравновешиванию внутренних и внешних частей кристаллов и образованию гомогенных зерен.

Можно также предположить, что быстрая кристаллизация и остывание массива не способствовали эффективному отделению сульфидов и образованию богатых руд, хотя это предположение должно быть проверено.

## ВЫВОДЫ

1. Микчангдинский массив, расположенный в восточной части Норильского рудного района, по внутреннему строению и петрогеохимическим особенностям пород близок к

рудоносным интрузивам со сплошными рудами – Талнахскому и Норильск 1. Он был образован из исходной магмы, практически идентичной по составу к магмам, сформировавшим эти интрузивы, кристаллизация которой произошла при температурах 1200–1150°C.

2. Отличительной особенностью Микчангдинского массива является присутствие в его породах контрастно зональных порообразующих минералов. Наиболее необычным является состав оливинов, для которых установлена разница между центральными и периферическими частями 20 мол. % Fo. Зональные зерна оливинов обнаружены во всех горизонтах массива, кроме пикритовых габбро-долеритов, где разница между ядром и каймой в среднем составляет 1 мол. % Fo.

3. Необычный состав минералов, характеризующий высокую скорость остывания пород Микчангдинского массива, объясняется его особой геолого-тектонической позицией: локализацией в пределах Хантайско-Рыбнинского поднятия близко к палеоповерхности, а также отсутствием многочисленных комагматических интрузивных тел, что предупредило вмещающие породы от сильного прогрета и сохранило их низкую температуру, благодаря чему в породах образовались уникальные зональные оливины.

*Благодарности.* Авторы выражают искреннюю признательность Д.В. Кузьмину за помощь в проведении микронзондовых анализов минералов, а также А.И. Якушеву и Д.З. Журавлеву за выполнение аналитических работ по определению главных и редких элементов в породах с помощью рентгенофлуоресцентного метода и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Особую благодарность авторы выражают А.В. Соболеву за предоставленную возможность исследования минералов на микронзонде.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 07-05-01007).

#### Список литературы

- Булгакова Е.Н.* Физико-химические условия образования норильских дифференцированных трапповых интрузий // Траппы Сибирской платформы и их металлогения. Иркутск: Институт земной коры, 1971. С. 36–37.
- Генкин А.Д., Дистлер В.В., Гладышев Г.Д. и др.* Сульфидные медно-никелевые руды норильских месторождений. М.: Наука, 234 с.
- Годлевский М.Н.* Траппы и рудоносные интрузии Норильского района. М: Госгеолтехиздат, 1959. 61 с.
- Годлевский М.Н., Лихачев А.П.* Экспериментальные и физико-химические данные о формировании медно-никелевых месторождений // Проблемы петрологии в связи с сульфидным медно-никелевым рудообразованием. М.: Наука, 1981. С. 138–147.
- Днепровская М.Б., Френкель М.Я., Ярошевский А.А.* Количественная модель расслоенности Талнахской интрузии, норильский район. Построение моделей рудообразующих систем. Новосибирск: Наука. 1987. С. 96–106.
- Дистлер В.В., Служеникин С.С., Кабри Л.Дж. и др.* Платиновые руды норильских расслоенных интрузивов: соотношение магматического и флюидного концентрирования благородных металлов // Геология рудных месторождений. 1999. Т. 41. № 3. С. 241–265.
- Додин Д.А., Батуев Б.Н., Митенков Г.А. и др.* Атлас пород и руд норильских медно-никелевых месторождений. Л: Недра, 1971. 560 с.
- Дюжиков О.А., Дистлер В.В., Струнин Б.М. и др.* Геология и рудоносность Норильского рудного района. М.: «Наука», 1988. 280 с.
- Золотухин В.В., Рябов В.В., Васильев Ю.Р. и др.* Петрология Талнахской дифференцированной интрузии. Новосибирск: Наука, 1975. 436 с.
- Криволицкая Н.А., Арискин А.А., Служеникин С.Ф., Туровцев Д.М.* Геохимическая термометрия пород Талнахского интрузива: оценка состава расплава и степени раскристаллизованности исходной магмы // Петрология. 2001. Т. 9. № 5. С. 451–479.
- Криволицкая Н.А., Соболев А.В.* Магматические включения в оливинах норильских интрузивов (Северо-Запад Сибирской платформы) как источник информации об исходных расплавах // ДАН. 2001. т.381, № 3. С. 393–398.
- Криволицкая Н.А., Соболев А.В., Кузьмин Д.В., Свирская Н.М.* Уникальные зональные оливины из ультрабазит-базитового массива Норильского района // ДАН. 2009. Т. 429. № 4. С. 393–398.
- Криволицкая Н.А., Рудакова А.В.* Строение и геохимические особенности пород трапповой формации Норильской мульды (СЗ Сибирской платформы) // Геохимия. 2009. № 7. С. 675–698.
- Лихачев А.П.* Роль лейкократового габбров происхождения норильских дифференцированных интрузий // Изв. АН СССР. Серия геологическая. 1965. № 12. С. 50–66.
- Лихачев А.П.* Генетические модели сульфидно-никеленосных формаций в связи с другими эндогенными формациями // Рудообразование и генетические модели эндогенных рудных формаций. Новосибирск: Наука, 1988. С. 158–166.
- Лихачев А.П.* Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. М.: «Эслан», 2006. 496 с.

- Туровцев Д.М.* Контактный метаморфизм норильских интрузий. М.: Научный мир, 2002. 325 с.
- Arndt N.T., Czamanske G.K., Walker R.J. et al.* Geochemistry and Origin of the Intrusive Hosts of the Noril'sk-Talnakh Cu-Ni-PGE Sulfide Deposits // *Economic Geology*. 2003. V. 98. P. 495–515.
- Connolly H.C., Zipfel J., Grossman J.N. et al.* The Meteoritical Bulletin, № . 91. September // *Meteoritics and Planetary Science*. 2006. V. 41. P. 1383-1418.
- Fedorenko V.A., Lightfoot P.C., Naldrett A.J. et al.* Petrogenesis of the Flood-Basalt Sequence at Noril'sk, North Central Siberia // *International Geology Review*. V. 38. 1996. P. 99-135.
- Hofmann A.W.* Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle, continental crust and oceanic crust // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1988. V. 90. P. 297-314.
- Kamenetsky V.S., Kamenetskaya M. B., Sobolev A.V. et al.* Olivine in the Udachnaya-East kimberlite (Yakutia, Russia): morphology, compositional zoning and origin // *J. Petrol.* 2008. V. 49. P. 823 - 839.
- Lightfoot P.C., Howkesworth C.J., Hergt J. et al.* Remobilisation of the continental lithosphere by mantle plumes: major, - trace-element/ and Sr-, Nd-, and Pb-isotope evidence from picritic and tholeiitic lavas of the Noril'sk District, Siberian Trap, Russia // *Contr. Mineral. Petrol.* 1993. V. 114. P. 171-188.
- Naldrett A.J., Lightfoot P.C., Fedorenko V.A. et al.* Geology and geochemistry of intrusions and flood basalts of the Noril'sk region, USSR, with implication for origin of the Ni-Cu ores // *Economic Geology*. 1992. V. 87. P. 975-1004.
- Naldrett A.J.* A history of our understanding of magmatic Ni-Cu sulfide deposits // *Can. Mineral.* 2005. V. 43. P. 2069-2098.
- Sarbadhikari A.B., Day J.M.D., Lui Y. et al.* Petrogenesis of olivine-phyric shergottite Larkman Nunatak 0613: Implication for enriched components in martian basalts // *Geochimica and Cosmochimica Acta*. 2009. V. 73. P. 2190-2214.
- Sobolev A.V., Hofmann A.J., Kuzmin D.V. et al.* The amount of Recycled Crust in Sources of Mantle-Derived Melts // *Science*. 2007. V. 316. P. 412-417.

## INTERNAL STRUCTURE AND COMPOSITION OF THE MIKCHANGDINSKY BASIC AND ULTRABASIC MASSIF IN THE NORILSK ORE DISTRICT (SIBERIAN TRAP PROVINCE)

N.A. Krivolutskaya<sup>1</sup>, V.N. Mikhailov<sup>2</sup>, S.G. Snisar<sup>2</sup>, B.I. Gongalsky<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Vernadsky Institute of Geochemistry RAS, Moscow; e-mail: nakriv@mail.ru*

<sup>2</sup>*LLC «Norilskgeology», Norilsk*

<sup>3</sup>*Institute of Ore deposits RAS, Moscow*

The article provides the description of the Mikchangdinsky basic-ultrabasic massif of the trap formation located in the Eastern part of the Norilsk region. This is the first report concerning the Mikchangdinsky intrusion ever published. Its specific features are sulfide mineralization in the endocontact zone and contrast zoned rock-forming minerals. Olivine is of great interest due to its grains graduated in forsterite content 20 mol. % from the core to the rime. This is the pioneer work describing this type of olivines. The authors described the internal structure of the massif, composition variations of rock-forming minerals, petrological and geochemical rock features. The paper concludes that primary Michangdinsky magma was similar to magmas of the Talnakh and Norilsk 1 intrusions with unique Pt-Cu-Ni ores. It is suggested that zoned olivine formation was caused by crystallization of massif in specific geological setting within the North framework of the Khantaisky-Rybninsky swell.

*Keywords: Norilsk region, Siberian trap province, zoned olivine.*