

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИНИЙ ОЛИВИНОВОГО КОНТРОЛЯ
И МОДЕЛИ КОМАГМАТ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТАВА ИСХОДНОЙ МАГМЫ
РАССЛОЕННОГО ЙОКО-ДОВЫРЕНСКОГО ИНТРУЗИВА**

Арискин А.А.*, Данюшевский Л.В.****,** Конников Э.Г.*****,** Бармина Г.С.***,** Николаев Г.С.*

**Институт геохимии и аналитической химии РАН, Москва, Россия*

e-mail: ariskin@rambler.ru

***Тасманийский университет, Хобарт, Австралия*

e-mail: l.dan@utas.edu.au

****Институт экспериментальной минералогии РАН, Черногоровка, Россия*

e-mail: konn@iem.ac.ru

**USE OF OLIVINE CONTROL LINES AND THE COMAGMAT MODEL
FOR EVALUATION OF THE PARENTAL MAGMA COMPOSITION
OF THE IOKO-DOVYREN LAYERED INTRUSION**

Ariskin A.A.*, Danyushevsky L.V.****,** Konnikov E.G.*****,** Barmina G.S.***,** Nikolaev G.S.*

**Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, Russia*

e-mail: ariskin@rambler.ru

***University of Tasmania (CODES), Hobart, Australia*

e-mail: l.dan@utas.edu.au

****Institute of Experimental Mineralogy RAS, Chernogolovka, Moscow region, Russia*

e-mail: konn@iem.ac.ru

Several methods approaching initial melt composition and other parameters of a magma parental to the Ioko-Dovyren dunite-troctolite-gabbro-norite massif in Northern Transbaikalia Region have been considered. Providing a closed magma chamber, the most accurate estimates were shown to follow from a combination of olivine control lines with results of calculations simulating equilibrium crystallization of chilled picrodolerites and contact Pl-lherzolites. Based on the results the Dovyren magma seemed to bring a significant amount of intratelluric olivine of $\sim Fo_{85-88}$ into the magma chamber and its bulk composition corresponds to Ol-gabbro-norites containing ~ 20 мас.% MgO. The initial melt composition of the magmatic suspension is consistent with magnesium basites containing of ≤ 11 wt% MgO. Probable temperature of the parental magma was not exceeded 1300°C.

Существует три главных метода оценки состава исходных магм расслоенных интрузивов. **(1)** Первый основан на исследованиях закаленных пород, отвечающих валовому составу суспензии кристаллов и расплава в момент внедрения. Такие породы обнаружены в основании Йоко-Довыренского массива и описаны в литературе как офитовые габбро или пикродолериты [1-3]. Общей их особенностью являются высокие содержания MgO (19-25 мас.%), долеритовая структура основной массы и обогащенность вкрапленниками Ol. В первой колонке табл. 1 приведена оценка состава пикродолеритов по [2]. Именно этот состав использовался при термометрических реконструкциях жидкой части исходной магмы Довыренского массива [4]. **(2)** В закрытой камере состав магмы должен соответствовать средневзвешенному составу тела. Для Йоко-Довыренского интрузива подобные оценки основаны на изучении разрезов в наиболее мощной центральной части массива [5, 6] (колонки 4 и 6 в табл. 1). **(3)** Третий подход включает исследования комагматических (суб)вулканических свит. К таковым относятся несколько плагиоперидотитовых силлов (мощностью до 200 м), которые прослеживаются ниже основания массива. Эти тела дифференцированы на габбронориты ($\sim 10\%$ MgO) и гипербазиты (25-30% MgO) [3, 7]. При соотношении этих компонентов 1:3, имеем исходную магму с содержанием около 24 мас.% MgO.

Состав и температура магматического расплава. Применение Ol-геотермометров [8] к составам исходной магмы Йоко-Довыренского массива (табл. 1) показывает, что в случае перегретости она должна содержать оливин $\sim Fo_{94}$. Это заметно отличается от данных по составу Ol в породах основания разреза, попадающих в интервал Fo_{82-87} [3], что указывает на внедрение

Таблица 1

Химические и фазовые характеристики «исходных магм» Йоко-Довыренского массива по результатам ЭВМ-моделирования при помощи программы КОМАГМАТ

Оксид	Расчет для закалочного пикродолерита ($P=0.5$ кбар) [4]			Расчет для среднего состава массива ($P=1$ кбар) [5]		Расчет для «интегрального» состава ($P=0.5$ кбар) [6]	
	«Исходная магма» [2]	Расплав (1185°C)	Расплав (1299°C)	«Исходная магма»	Расплав (1340°C)	«Исходная магма»	Расплав (1402°C)
SiO ₂	47.71	55.00	51.92	43.92	45.95	46.12	47.44
TiO ₂	0.36	0.74	0.57	0.11	0.18	0.31	0.39
Al ₂ O ₃	9.11	15.52	14.44	9.72	15.93	9.88	12.46
FeO	10.37	7.58	9.68	10.53	10.88	10.50	10.98
MnO	0.15	0.14	0.15	0.17	–	–	–
MgO	24.75	7.33	11.27	27.88	14.49	24.07	17.24
CaO	6.03	10.80	9.56	6.99	11.46	7.81	9.85
Na ₂ O	0.94	1.72	1.49	0.59	0.97	0.71	0.90
K ₂ O	0.54	1.08	0.86	0.07	0.11	0.53	0.67
P ₂ O ₅	0.04	0.08	0.06	0.02	–	0.06	0.08
<i>Фазовый состав магмы</i>							
<i>F</i>		51.1	36.9		~40		24
<i>Ol</i>		~ <i>Fo</i> ₈₅	<i>Fo</i>₈₈		~ <i>Fo</i> ₉₀		~ <i>Fo</i> ₉₁
<i>Pl</i>		~ <i>An</i> ₈₀	–		–		–
<i>F(Ol)</i>		46.5	36.9		~40		24

Примечания. Составы приведены к 100 мас.%. *F* – % кристаллов в системе. В третьей колонке выделен состав наиболее магниезильного исходного расплава, предложенный в данной работе.

в камеру суспензии менее магниезильных твердых фаз и расплава. При помощи программы КОМАГМАТ ранее была предпринята попытка разделить проблемы состава довыренской магмы и состава исходного магматического расплава [4]. Моделирование равновесной кристаллизации закаленного пикродолерита [2] до расплавов, равновесных с *Fo*₈₅ (состав *Ol* в плагиоклазовых лерцолитах нижней приконтактной зоны) позволило допустить субктектулическую (*Ol*±*Pl*) природу довыренской магмы, температура которой в момент внедрения составляла 1180-1190°C (табл. 1).

Недавно были представлены результаты численного моделирования строения сводного разреза Довыренского массива [5] на основе конвекционно-кумуляционной модели внутрикамерной дифференциации [8]. В этой работе составы пород нижней приконтактной зоны и расслоенной серии массива моделируются путем решения уравнений тепломассопереноса и массбалансовых уравнений:

$$C_{пор}^i = f_l C_l^i + \sum_{j=1}^m f_j^{кум} C_j^i, \quad (1)$$

где $C_{пор}^i$, C_l^i и C_j^i – содержания *i*-го компонента в породе, интеркумулясном расплаве и кумулюсных фазах ($1 \leq j \leq m$), f_l и $f_j^{кум}$ – доля расплава и кристаллов в кумулусе. Используя этот подход для принятого состава исходной магмы, авторам [5] удалось подобрать начальные условия внедрения и набор термофизических параметров, которые позволили воспроизвести в деталях петрохимические особенности довыренского разреза. Представленные результаты согласуются с более высокой температурой (1340°C) и высокомагниезильным составом исходного расплава, равновесного с оливином состава ~*Fo*₉₀ (табл. 1). Вместе с тем, Болиховская с коллегами [5] оставили без ответа вопрос о реальности конвективного перемешивания сильно закристаллизованных суспензий и одновременного формирования осадка, отвечающего дунитам и содержащего до 90-95% кумулюсного оливина [9].

Эти соображения явились основанием для гипотезы, что на ранних этапах затвердевания Йоко-Довыренского массива в магматической камере доминировали процессы не только оседания интрателлурического *Ol*, но также усадки кумулюса и миграции межпоровой жидкости [4].

При этом нижняя часть камеры могла оказаться исключенной из крупномасштабной конвекции. Эти идеи получили развитие в *конвекционно-компакционной модели* дифференциации Лавренчука [6]. Автор внес дополнения в интрузивный блок программы КОМАГМАТ [8] и разработал двухслойную модель, где в верхней части камеры «правит» режим конвектирующей магмы, а в нижней учитывается компакция кумулатов, сопряженная с отжимом интеркумулусного расплава. Поиск оптимальных параметров конвекционно-компакционной модели проводился для исходной магмы близкой среднему составу закаленных пород, полагая ~20% интрателлурических вкрапленников *Ol* (табл. 1). По этим данным температура внедрения магмы составляла около 1400°C, а жидкая часть исходной суспензии имела коматиитовый состав (17-18 мас.% MgO), равновесный с оливином $\sim Fo_{91}$.

Таким образом, результаты работ по прямому и обратному моделированию физико-химических параметров довыренской магмы определили диапазон возможных температур и состава исходного расплава. Эти оценки варьируют от высоко-Mg коматиитового (17.2% MgO) и пикри-тоидного состава (14.5% MgO), равновесных при 1400-1340°C с оливином Fo_{91-90} [5,6], до умеренно магнезиального габброноритового расплава (~7.5% MgO), равновесного при ~1185°C с Fo_{85} [4]. При этом все три группы исследователей пришли к выводу о высокой степени раскристаллизации исходной магмы, содержащей от 20% до 50% вкрапленников оливина.

Значение линий оливинового контроля. Конкретизация температуры и состава исходного расплава возможна при помощи дополнительных критериев, основанных на балансе масс для систем, насыщенных оливином. Действительно, если кумулусная фаза представлена только оливином постоянного состава, уравнение (1) приводится к виду:

$$C_{пор}^i = f_l C_l^i + (1 - f_l) C_{Ol}^i, \quad (2)$$

где C_{Ol}^i – содержание *i*-го компонента в *Ol*. Подобные зависимости показывают, что составы оливиновых кумулатов должны «принадлежать» одной конноде, связывающей фиксированные составы расплава и твердой фазы. Соответствующие петрохимические тренды в координатах FeO-MgO должны пересекать линию составов стехиометричного *Ol* в точке исходного содержания *Fo* (рис. 1а). Эта точка отвечает гипотетическому уплотнению кристаллического осадка до 100%. Таким образом, в валовых составах закаленных или быстро охлажденных пород должна быть

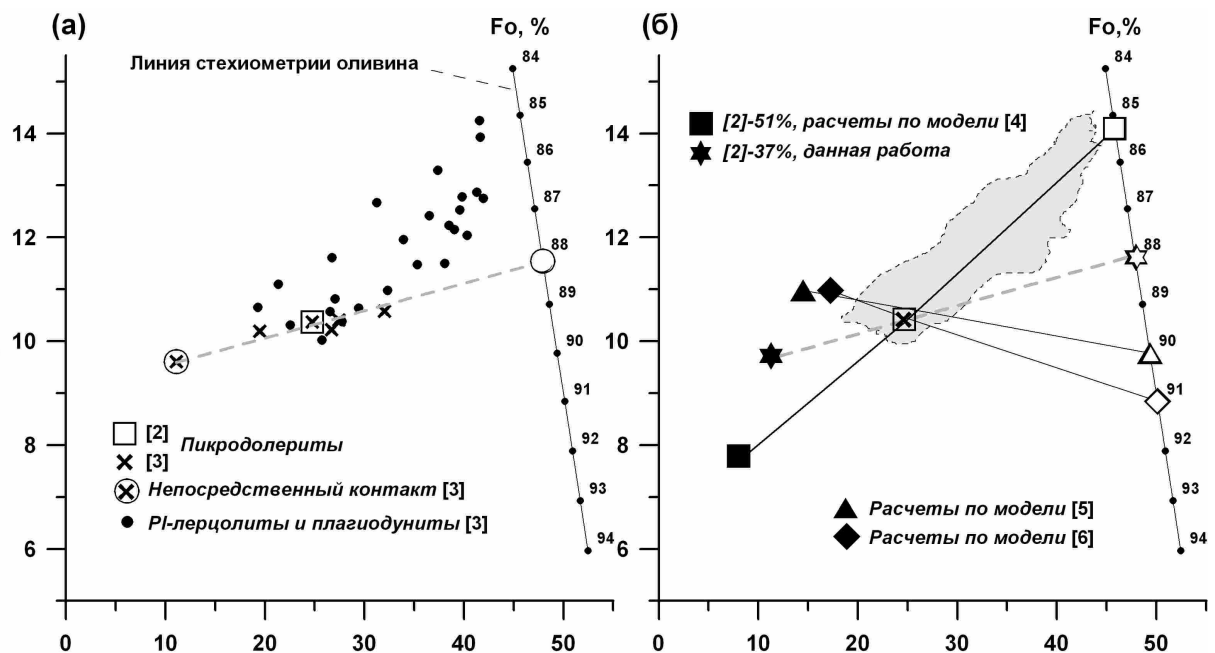


Рис. 1. Линии оливинового контроля для составов пород нижней приконтактной зоны (а) и предполагаемых исходных магм (б) Йоко-Довыренского интрузива

записана информация о составе первичного кумулюсного Ol , которую можно извлечь при помощи линий оливнинового контроля (конноды Ol – расплав) [10]. Отметим, что искомая информация «закодирована» именно в валовых составах пород, а не измеряемых на микрозонде составах оливина, поскольку последние могут представлять результат посткумулясной перекристаллизации [11].

На рис. 1а показаны тренды Ol -контроля, для составов пикродолеритов (~15 м вглубь от нижнего контакта) и плагиоклазовых лерцолитов, слагающих ~150 м нижней приконтактной зоны и силлы перидотитового состава. Эти данные показывают, что пикродолериты представляют наиболее магнезиальный материал, поступавший в камеру и указывают на исходный расплав равновесный с Fo_{88} и содержащий около 11 мас.% MgO . Pl -лерцолиты демонстрируют более широкий спектр составов, отвечающий некоторому интервалу менее магнезиальных расплавов (~8-10 мас.% MgO) и оливина (85-87% Fo). Эти соотношения поднимают вопрос о степени гетерогенности довыренской магмы и относительных пропорциях «высоко»- и «низкотемпературного» компонентов в масштабах камеры.

На рис. 1б сопоставляются линии Ol – исходный расплав, отвечающие результатам расчетов [4-6]. Не трудно заметить, что исходные конноды Болиховской и др. [5] и Лавренчука [6] пересекают петрохимические тренды и «уводят» ожидаемые характеристики модельных пород в область составов, обедненных FeO . Это объясняет, почему данным авторам не удалось воспроизвести составы пород из нижней части разреза, а результаты расчетов давали заниженные (на 2-3 мас.%) содержания FeO в модельных адкумулясных дунитах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурулев С.А. Условия формирования основных расслоенных интрузий. М.: Наука, 1983. 248 с.
2. Миронов Ю.В., Ионов Д.А., Кривоплясов Г.С. и др. Строение Йоко-Довыренского дунит-троктолит-габбро-норитового расслоенного массива (Северное Прибайкалье) // ДАН СССР. 1980. Т. 250. № 5. С. 1228-1232.
3. Кислов Е.В. Йоко-Довыренский расслоенный массив. Улан-Удэ: Изд. БНЦ, 1998. 264 с.
4. Аriskин А.А., Конников Э.Г., Кислов Е.В. Моделирование равновесной кристаллизации ультрамафитов в приложении к проблемам формирования фазовой расслоенности Довыренского плутона (Северное Прибайкалье, Россия) // Геохимия. 2003. № 2. С. 131-155.
5. Болиховская С.В., Ярошевский А.А., Коптев-Дворников Е.В. Моделирование геохимической структуры Йоко-Довыренского расслоенного интрузива, Северное Прибайкалье // Геохимия. 2007. № 6. С. 579-598.
6. Лавренчук А.В. Кумуляционно-компакиционная модель формирования расслоенных интрузий на примере Йоко-Довыренского массива // Тез. докл. межд. совещ. «Актуальные проблемы рудообразования и металлогении». Новосибирск: ГЕО, 2006. С. 132-133.
7. Конников Э.Г. Дифференцированные гипербазит-базитовые комплексы докембрия Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1986. 127 с.
8. Аriskин А.А., Бармина Г.С. Моделирование фазовых равновесий при кристаллизации базальтовых магм. (Ред. И.Д. Рябчиков). М.: Наука. 2000. 363 с.
9. Аriskин А.А., Конников Э.Г., Данюшевский Л.В., Кислов Е.В., Николаев Г.С., Орсов Д.А., Бармина Г.С., Бычков К.А. (2009) Довыренский интрузивный комплекс: проблемы петрологии и сульфидно-никелевой минерализации // Геохимия. [в печати].
10. Николаев Г.С., Аriskин А.А. Бураковско-Аганозерский расслоенный массив Заонежья: II. Строение краевой группы и оценка состава родоначальной магмы методом геохимической термометрии // Геохимия. 2005. № 7. С. 712-732.
11. Barnes S.J. The effect of trapped liquid crystallization on cumulus mineral compositions in layered intrusions // Contrib. Mineral. Petrol. 1986. V. 93. P. 524-531.