

УДК 552.321.6

СОСТАВ И ГЕНЕЗИС ОЛИВИНА ИЗ КИМБЕРЛИТОВ ТРУБКИ «ОБНАЖЕННАЯ»

С.А. Эсенкулова¹, С.И. Костровицкий², Д.А. Яковлев³, Л.Ф. Суворова⁴
Институт геохимии СО РАН, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а.

Проведено сравнение составов оливина макрокристов и зональных микрокристов из кимберлитов разного состава брекчиевой и массивной текстур, а также оливина мантийных ксенолитов трубки «Обнаженная» Куойкского поля (Якутская провинция). Показано, что часть оливина макрокристов и микрокристов с повышенным содержанием FeO кристаллизовалась из кимберлитового расплава. Максимальный объем такого оливина наблюдается в массивных разновидностях кимберлита.

Библиогр. 15 назв. Ил. 3. Табл. 2.

Ключевые слова: кимберлит; оливин; макрокрист; микрокрист; зональность; генезис.

THE COMPOSITION AND GENESIS OF OLIVINE FROM KIMBERLITES OF OBNAJENNAYA PIPE.

S.A. Esenkulova, S.I. Kostrovitsky, D.A. Yakovlev, L.F. Suvorova

Institute of Geochemistry SB RAS,
1a Favorsky St., Irkutsk, 664033, Russia.

The paper compares the olivine compositions of macrocrysts and zonal microcrysts from various composition kimberlites of breccia and massive textures and the olivine of mantle xenoliths from “Obnazhennaya” pipe of Kuoika field (Yakutian province, Russia). It is shown that a part of macrocryst and microcryst olivine with high content of FeO has crystallized from kimberlite melt. The maximum amount of crystallized olivine can be found in massive varieties of kimberlite.

15 sources. 3 figures. 2 table.

Key words: kimberlite; olivine; macrocryst; microcryst; zoning; genesis.

Введение. Кимберлиты являются гибридными породами, и в этом заключается сложность их изучения и понимания их генезиса.

Кимберлиты представляют собой неравномернозернистую породу порфировой структуры, в которой макрокристные минералы расположены в тонкозернистой основной массе [2, 11]. Оливин, являющийся порообразующим минералом кимберлитов, находится

как в виде макрокристов, так и входит в состав основной массы кимберлитов, образуя микрокристы. К макрокристам отнесены зерна размером более 1 мм угловатой, угловато-округлой, иногда округлой, овальной форм. Микрокристы оливина размером <1 мм нередко имеют идиоморфную и гипидиоморфную форму.

С первых лет изучения кимберлитов было высказано предположение,

¹Эсенкулова Светлана Александровна, младший научный сотрудник, тел.: (3952) 511457, e-mail: esenkulova@igc.irk.ru

Esenkulova Svetlana, Junior researcher, tel.: (3952) 511457, e-mail: esenkulova@igc.irk.ru

²Костровицкий Сергей Иванович, ведущий научный сотрудник, доктор геолого-минералогических наук, тел.: (3952) 511457, e-mail: serkost@igc.irk.ru

Kostrovitsky Sergey, Leading researcher, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, tel.: (3952) 511457, e-mail: serkost@igc.irk.ru

³Яковлев Дмитрий Анатольевич, научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук, тел.: (3952) 511457, e-mail: yakovlev@igc.irk.ru

Yakovlev Dmitry, Researcher, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, tel.: (3952) 511457, e-mail: yakovlev@igc.irk.ru

⁴Суворова Людмила Федоровна, старший научный сотрудник, кандидат химических наук, e-mail: lsuvor@igc.irk.ru

Suvorova Lyudmila, Senior Researcher, Candidate of Chemistry, e-mail: lsuvor@igc.irk.ru

что доминирующее количество макрокристаллических минералов имеет ксеногенное происхождение за счет захвата обломочного материала пород литосферной мантии ультраосновного состава и только минералы основной массы кристаллизовались из кимберлитового расплава-флюида [3, 4, 11]. Однако в последние годы по поводу возможности выделения микрокристаллического оливина, который иногда именуется оливином второй генерации, высказываются сомнения [9, 14]. Авторы утверждают, что ядра оливина основной массы якобы имеют ксеногенное происхождение.

Дискуссионность вопроса о происхождении оливина обусловлена, на наш взгляд, ограниченным числом изученных трубок, выполненных кимберлитом со свежим оливином. На севере Якутской провинции степень серпентинизации кимберлитов проявлена гораздо меньше, чем на юге. Поскольку вопрос, какой объем оливина кристаллизовался из кимберлитового расплава, является важным для решения проблемы состава первичного кимберлитового расплава, нами изучен состав оливина из кимберлитов трубки Обнаженная, расположенной в Куойкском поле на севере Якутской кимберлитовой провинции. Основной задачей исследований явилось изучение составов оливина макрокристов, микрокристов кимберлитов, а также из мантийных ксенолитов ультраосновного состава, встреченных в трубке Обнаженная.

Кимберлитовые породы, слагающие трубку Обнаженная, представлены классическими разновидностями диатремовой фации – кимберлитовыми брекчиями и кимберлитами массивной текстуры. При этом кимберлиты массивной текстуры встречаются только в виде редких включений в кимберлитовой брекчии. Кимберлиты как брекчиевой, так и массивной текстур отличаются относительно низкой степенью проявления вторичных процессов – серпентинизации и карбонатизации, общим свежим обликом пород. По сравнению с

массивными разновидностями кимберлитов брекчии центральной зоны отличаются высокой насыщенностью макрокристов оливина, а также относительно небольшим содержанием карбонатов.

Методика исследований. Для изучения состава оливинов использовался рентгеновский электронно-зондовый микроанализатор JXA-8200, Jeol. (Япония), снабженный растровым электронным микроскопом высокого разрешения, энергодисперсионным спектрометром с SiLi детектором с разрешением 133 eV и пятью спектрометрами с волновой дисперсией. Морфология и зональность оливинов изучались на растровом электронном микроскопе по изображениям в обратно-рассеянных электронах (BSE) при различных увеличениях.

Количественный элементный анализ оливинов выполнялся на спектрометрах с волновой дисперсией при следующих аналитических условиях: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток пучка электронов 30 нА, время счета импульсов 30 с на пике линии, фон измерялся по 15 с двух сторон от линии. Для регистрации аналитического сигнала микрокомпонентов использовался светосильный Н-тип рентгеновского спектрометра. Такие условия позволяют определять содержания макрокомпонентов (MgO, SiO₂, FeO) с относительной погрешностью менее 1%, микрокомпонентов (NiO, MnO, FeO) с погрешностью 2–4% отн. Погрешности определения примесных компонентов CaO, Cr₂O₃ и TiO₂, составляют 10–30% отн. Фирменное матобеспечение применялось для расчета химического состава минералов, для градуировки методики использовались природные минералы (оливин, диопсид, хромит, ильменит), аттестованные как лабораторные образцы сравнения.

Результаты исследований. Ниже приведено описание состава оливина, изученного в шлифах и аншлифах отдельных образцов кимберлитовой брекчии (образцы № 7-237, 7-392) и массив-

ного кимберлита (образцы 7-384, 7-386 и 7-387), а также из мантийных ксенолитов. Представительные анализы состава оливина приведены в табл. 1 и 2.

Образец 7-237. Кимберлитовая брекчия, мелкозернистая, с массивной текстурой основной массы серпентин-карбонатного, карбонат-серпентинового составов. Соотношение карбоната (в основном, кальцит, в подчиненном количестве доломит) и серпентина варьирует с доминированием то одного, то другого минерала. Брекчия наряду с макрокристаллами (10–15%) содержит микрокристаллы оливина (20–25%) размером от 10x20 до 400x800 мкм овальной, овально-угловатой, редко идиоморфной форм (рис. 1). Оливин слабо серпентинизирован по микротрещинам, и в виде тонкой каймы вокруг зерен. В основной массе обнаруживается также флогопит (1–3%), рудные минералы (в основном, сульфиды, 1–3%), апатит (<1%).

Содержание FeO в макрокристаллах и в ядрах микрокристаллов оливина варьирует соответственно в пределах 7,0–8,4 и 7,1–7,9%, в среднем составляя 7,6 и 7,4% и практически не отличаясь. Зональность микрокристаллов проявляется ограниченно – только на отдельных участках некоторых зерен (рис. 1). Содержание FeO в каймах изменяется в пределах 11,8–12,9% (8 определений). Содержание NiO в каймах оливина по сравнению с ядрами падает примерно в 2 раза (от 0,39 до 0,18% в среднем). Изменение состава оливина от ядра к кайме происходит резко, скачкообразно. Более высокий уровень содержания NiO в макрокристаллах оливина по сравнению с микрокристаллами демонстрируется на рис. 3.

Образец 7-384. Мелкопорфировый кимберлит представлен рассеянными макрокристаллами оливина угловато-округлой формы размером до 5–6 мм, с

Таблица 1

Представительные анализы химического состава макрокристаллов оливина из кимберлитов трубки Обнаженная (микроразондовый анализ)

№ обр.	№ ан.	Компоненты, %						
		SiO ₂	FeO	MnO	MgO	NiO	Total	Fa
7-237 КБ	1	41,03	8,43	0,11	49,24	0,42	99,23	8,76
	2	41,3	7,2	0,09	50,98	0,39	99,96	7,34
	3	41,62	7,97	0,09	50,63	0,4	100,71	8,11
	4	40,53	7,52	0,08	50,64	0,43	99,2	7,69
	5	41,96	7,71	0,11	50,86	0,41	101,05	7,84
7-387 ПК	6	41,09	7,17	0,09	50,29	0,41	99,05	7,41
	7	41,33	7,96	0,11	50,56	0,37	100,33	8,12
	8	42,15	6,65	0,05	51,01	0,37	100,23	6,81
	9	40,26	10	0,13	48,77	0,35	99,51	10,32
	10	40,15	11,06	0,11	47,72	0,32	99,36	11,51
7-392 КБ	11	40,68	9,65	0,12	49,27	0,31	100,03	9,90
	12	41,16	7,57	0,08	50,41	0,42	99,64	7,77
	13	40,84	8,67	0,08	49,55	0,39	99,53	8,94
	14	40,74	7,19	0,09	51,13	0,37	99,52	7,31
	15	41,15	8,6	0,11	50,53	0,4	100,79	8,72
7-384 ПК	16	40,83	7,99	0,1	49,98	0,35	99,25	8,23
	17	41,27	7,42	0,08	50,12	0,4	99,29	7,67
Оливин из ксенолитов	18	40,63	7,06	0,08	52,17	0,34	100,28	7,06
		<u>39,9-42,1</u> 40,9	<u>7,0-8,6</u> 7,9	<u>0,07-0,11</u> 0,09	<u>49,4-51,7</u> 50,7	<u>0,35-0,44</u> 0,4		<u>7,0-8,7</u> 8,0

Примечание. КБ – кимберлитовая брекчия; ПК – порфировый кимберлит массивной текстуры. Для оливина из ксенолитов – интервал вариации (числитель), среднее (знаменатель) содержание оксидов.

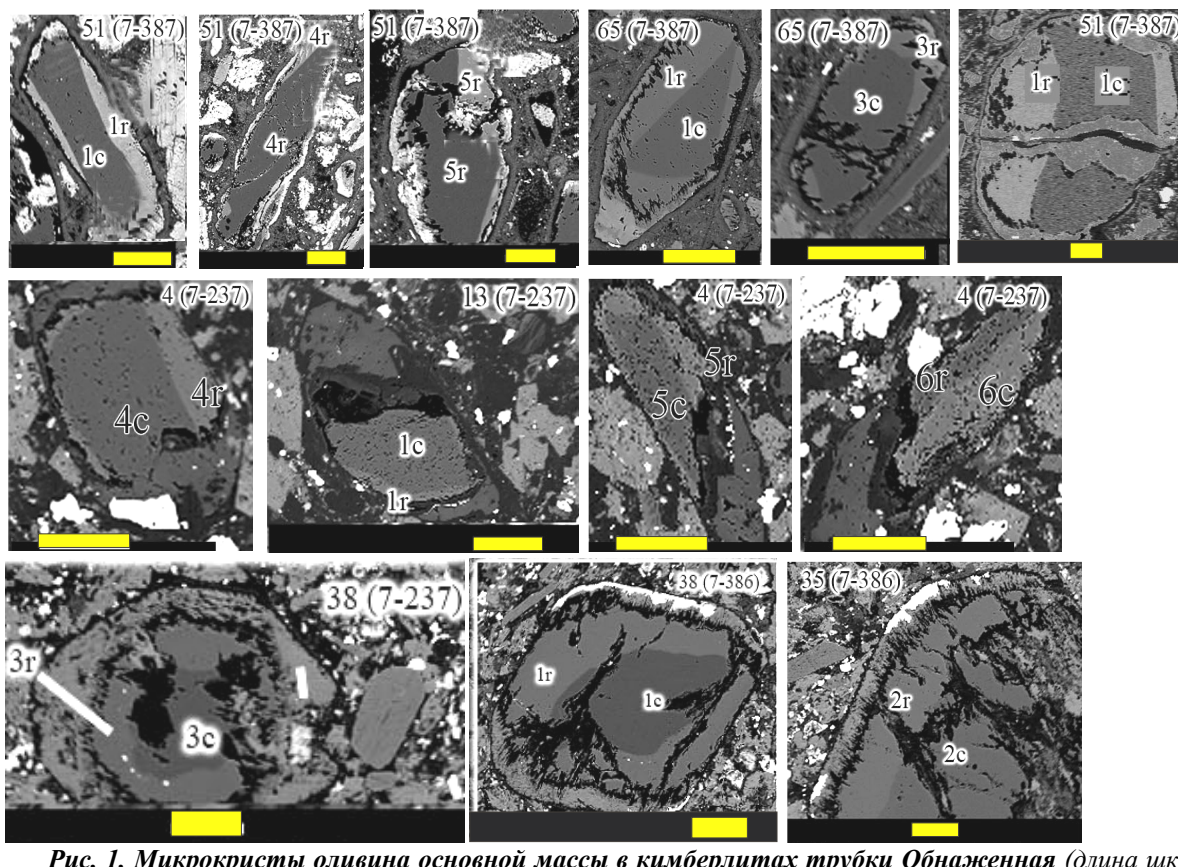


Рис. 1. Микрокристы оливина основной массы в кимберлитах трубки *Обнаженная* (длина шкалы на всех фотографиях соответствует 100 мкм). Фотографии в режиме *COMPO* (*Superprobe JXA-733*): *с* – центр зерна; *г* – кайма зерна

Таблица 2

Представительные анализы зональных микрокристов оливина из кимберлитов трубки *Обнаженная*

№ обр.	№ ан.	Компоненты, %					Total
		SiO ₂	FeO	MnO	MgO	NiO	
7-237 КБ	17-4c	40,53	7,27	0,08	50,34	0,42	98,68
	17-4r	40,98	12,63	0,19	46,20	0,11	100,34
	17-5c	41,19	7,46	0,09	50,17	0,38	99,33
	17-5r	41,12	12,34	0,19	46,55	0,24	100,63
	7-4c	41,57	7,22	0,09	50,50	0,36	99,81
	7-4r	40,12	12,33	0,18	46,49	0,27	99,64
7-386 ПК	35-2c	40,33	9,50	0,12	48,93	0,38	99,40
	35-2r	40,41	11,41	0,15	48,13	0,29	100,59
	38-1c	40,97	7,77	0,08	50,99	0,36	100,22
7-386 ПК	38-1r	41,17	11,61	0,14	46,47	0,38	100,02
	38-3c	40,91	8,55	0,10	49,81	0,42	99,82
	38-3r	40,63	11,22	0,14	47,87	0,39	100,40
7-387 ПК	51-1c	40,82	7,33	0,08	50,24	0,41	98,92
	51-1r	40,62	11,87	0,18	46,26	0,14	99,21
	51-3c	41,50	6,83	0,08	51,02	0,36	99,96
	51-3r	39,53	12,21	0,16	46,56	0,27	98,91
	65-1c	40,91	9,16	0,10	48,58	0,39	99,28
	65-1r	40,75	11,96	0,16	46,98	0,17	100,17

Примечание. КБ – кимберлитовая брекчия; ПК – порфиновый кимберлит массивной текстуры; *с* – центр зерна; *г* – кайма зерна.

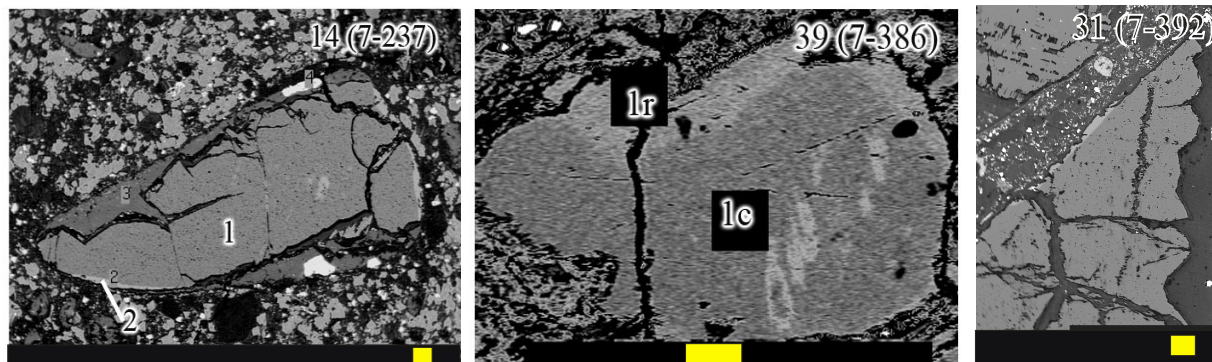


Рис. 2. Макрокристы оливина в основной массе кимберлитов трубки *Обнаженная* (длина шкалы на всех фотографиях соответствует 100 мкм). Фотографии в режиме СОРРО (Superprobe JXA-733)

флюидальной текстурой, обусловленной направленной ориентировкой микролитов кальцита. Оливин основной массы (микрокристы) преимущественно овальной, угловато-округлой, редко идиоморфной форм размером 0,1–0,5 мм имеет неровные корродированные края и окружен тонкой (до 20 мкм) каймой серпентинового состава. Микрокристы оливина являются, в основном, зональными. Содержание FeO и NiO в ядрах микрокристов оливина составляет 7,0–8,5% и 0,35–0,39% (5 определений). Содержание FeO и NiO в каймах составляет 12,4–13,8% и 0,12–0,26%.

Образец 7-387. Включение массивного кимберлита с флюидальной текстурой, обусловленной направленной ориентировкой микрокристаллов оливина и микролитов кальцита. По сравнению с образцом 7-384 является более насыщенным микрокристами оливина идиоморфной и гипидиоморфной форм (до 50–60% от площади шлифа), с основной массой карбонат-серпентинового состава. Содержание карбоната в основной массе не превышает 15%. Микрокристы оливина окружены тонкой каймой кальцитового состава (см. рис. 1).

Макрокристы, так же как и ядра микрокристов оливина, характеризуются широким интервалом вариации содержания FeO (6,6–12,6 и 6,5–12,3% соответственно). Содержание FeO и NiO в каймах оливина варьирует в пределах 11,9–13,6% и 0,09–0,32% соответственно, в среднем составляя 12,3 и 0,18%.

Образец 7-386. Массивный кимберлит мелко-, тонкозернистой структуры, с основной массой существенно карбонатного состава (кальцит – до 40–50%, серпентин – 15–20%, флогопит – 15–20%, рудные минералы: титаномагнетит, перовскит – 10%) с микрокристами оливина идиоморфной и гипидиоморфной форм размером от 0,2 до 1,0 мм (10–15%). Особенностью кимберлита является высокая насыщенность микролитами флогопита размером от 30x10 до 200x25 мкм. Микрокристы оливина (см. рис. 1) были подвергнуты интенсивному коррозионному воздействию карбонатного флюида, частично, а иногда нацело замещающего их. Содержание FeO и NiO в ядрах микрокристов оливина составляет 7,7–10,3% (среднее 9,0%) и 0,32–0,42% (среднее 0,36%) (6 определений). Содержание FeO и NiO в каймах составляет 11,2–12,0% и 0,24–0,39% (среднее 0,32%). По сравнению с другими изученными образцами кимберлитов обр. 7-386 содержит микрокристы оливина, ядра которых характеризуются наиболее высоким содержанием FeO, а каймы, напротив, – относительно низким содержанием FeO и высоким содержанием NiO (см. табл. 2).

Образец 7-392. Кимберлитовая брекчия, содержащая обломки вмещающих пород, окружающих трубку, в количестве 5–7%, насыщена микрокристами оливина угловатой формы размером от 0,3 до 5–7 мм до 50–60% (см. рис. 2). Содержание FeO в макрокристах оливина размером >2 мм варьирует

в интервале 7,2–8,7% (8 определений). Микрокристы оливина овальной и гипидиоморфной форм размером от

0,05x0,1 до 0,8x0,5 мм относительно редки; более крупные зерна демонстрируют зональность. Каймы вокруг зерен

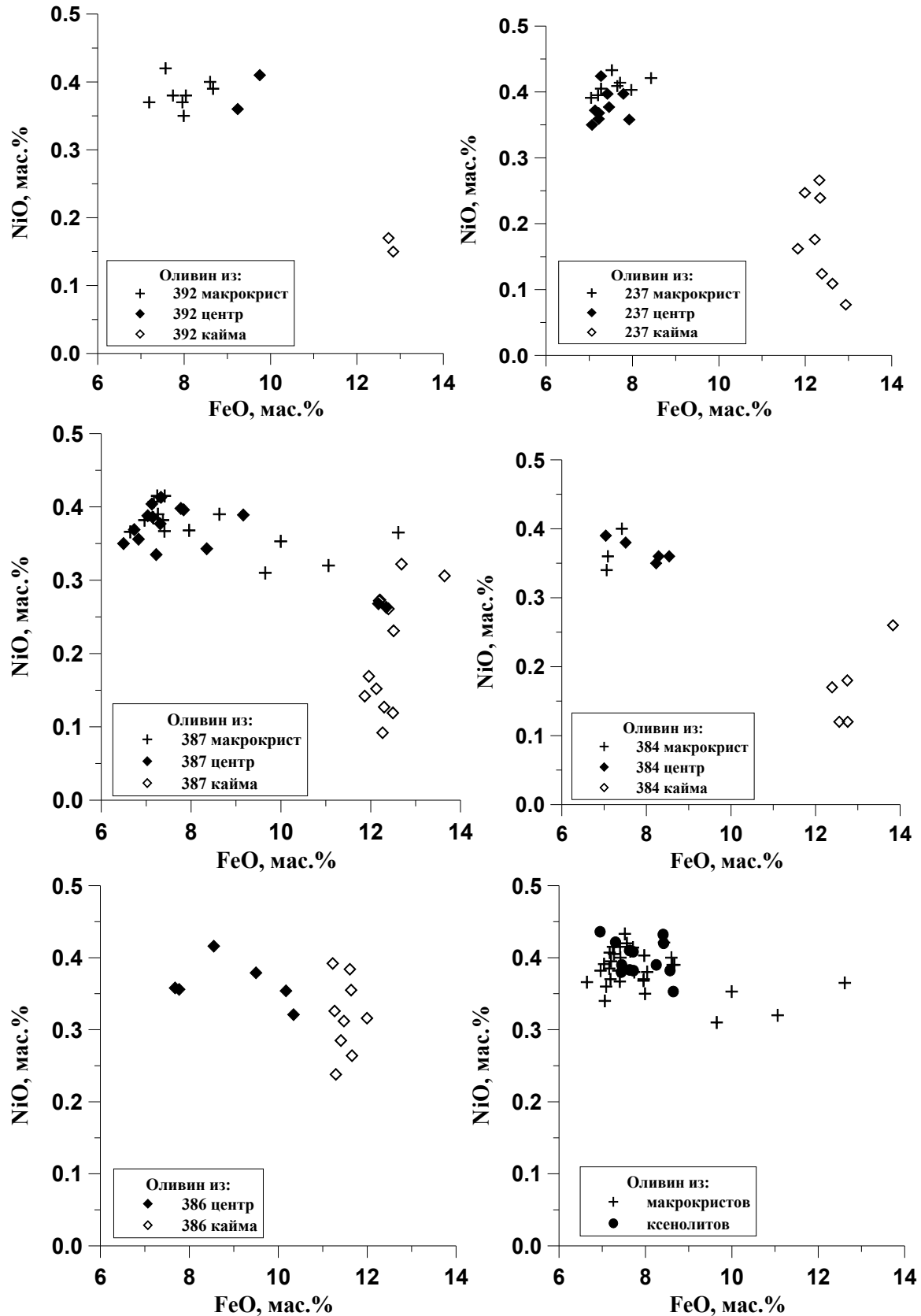


Рис. 3. Графики FeO-NiO для Ol из разных образцов кимберлита и ксенолитов трубки Обнаженная. Условные значки: ромб – микрокристы; крест – макрокристы; кружок – Ol из ксенолитов

прерывисты, разной ширины и развиваются, как правило, вдоль длинных сторон микрокристов (ширина кайм составляет 20–80 мкм). Содержание FeO и NiO в ядрах микрокристов оливина составляет соответственно 9,2–9,8% и 0,36–0,41% (2 определения). Содержание FeO и NiO в каймах составляет 12,7–12,8% и 0,15–0,17%. Ядерные части изученных зерен микрокристов оказались более железистого состава, чем макрокристы оливина (см. табл. 2).

Ксенолиты. В табл. 1 приведены также данные по составу оливина из мантийных ксенолитов ультраосновного состава – лерцолитов и вебстеритов из трубки Обнаженная. Содержание FeO варьирует в диапазоне 7,0–8,6%, который перекрывается со значительной частью анализов для макрокристов оливина из кимберлитов. Содержание NiO в оливине из ксенолитов варьирует в интервале 0,35–0,44%.

Обсуждение. Сравнение состава макрокристов, микрокристов оливина из кимберлитов, а также оливина из ксенолитов нами проведено по содержанию FeO и NiO. Верхней границей содержания FeO в ксенолитах ультраосновного состава из трубки Обнаженная по нашим данным является 8,6% (табл. 1). Такое сравнение показало, что часть оливина из кимберлитов (и макрокристов, и ядерных частей микрокристов) отличается от оливина из ксенолитов более железистым составом. Практически все подобные анализы с повышенным содержанием FeO принадлежат массивным разновидностям кимберлитов. Состав макрокристов оливина из кимберлитовых брекчий не отличается от состава оливина из ксенолитов (за исключением одного анализа). Но в то же время, измеренные составы микрокристов оливина из брекчий показывают противоречивую картину. В обр. 7-237 не отличаются от ксенолитов, а в обр. 7-392 (для которого выполнено всего 2 анализа) содержание FeO превысило 9%. Процент числа анализов состава оливина, в которых содержание

FeO превысило верхнюю границу содержания FeO в ксенолитах 8,6%, широко варьирует и составляет в макрокристах – в обр. 7-384 – 0%, 7-387 – 35,7%, а в микрокристах – в обр. 7-384 – 20%, 7-386 – 66,7%, 7-387 – 26,7%. Интересно, что в массивном кимберлите с высоким содержанием флогопита в основной массе (обр. 7-386) кристаллизация оливина была незначительной. Макрокристы оливина практически отсутствуют, а микрокристы обычно идиоморфной формы редки.

Так как массивные кимберлиты характеризуются повышенным содержанием FeO, можно предположить, что образование не только микрокристов, но и части макрокристов связано с непосредственной кристаллизацией из кимберлитового расплава-флюида.

Если оливины основной массы кимберлитовой брекчии (обр. 7-237 и 7-392) представлены микрокристами овальной, овально-угловатой, реже идиоморфной форм, то в массивных разновидностях кимберлитов (обр. 7-384, 7-386 и 7-387) доминируют идиоморфные микрокристы. И в брекчии, и в массивном кимберлите большинство микрокристов демонстрируют прямую зональность. Краевые зоны по сравнению с центральной характеризуются более высоким содержанием FeO и MnO, а также заметно более низкой концентрацией NiO (см. табл. 2).

Дискуссионным является вопрос происхождения оливина основной массы и, в частности, механизма образования его зональности. В последние годы высказывается сомнение о возможности выделения оливина, кристаллизовавшегося из кимберлитового расплава, на том основании, что ядра оливина основной массы якобы имеют ксеногенное происхождение [9, 7, 13, 14]. И только образование каймы в зональных зернах оливина, по мнению авторов, обязано процессу кристаллизации из кимберлитового расплава. Однако существует и другая точка зрения на образование зональности в результате метасоматизи-

рующего воздействия остаточного кимберлитового расплава на микрокристы оливина [8, 10, 6, 4]. По мнению Ф. Бойда и К. Клемента [1], узкие периферические зонки изменения состава оливина отражают контактово-диффузионный эффект обмена с дифференцирующимся по составу кимберлитовым расплавом. Происходит выравнивание химического и микроэлементного составов для очень тонких зон зерен оливина I и II генераций.

Аргументами метасоматического происхождения зональности являются особенности ее проявления в микрокристах оливина в трубке Удачная-восточная [6, 9]. Зональность оливина в одном и том же образце кимберлита этой трубки отмечается как прямая (с повышением железистости), так и обратная (с понижением железистости). При этом, независимо от состава ядра, состав каймы оливина всегда одинаков. Обращает на себя внимание также ступенчатый характер зональности, значительный разрыв в составах ядра и каймы, однородный состав каймы, что невозможно объяснить механизмом кристаллизационной дифференциации.

Если принять эту точку зрения, то ядра оливина основной массы следует рассматривать как реликты микрокристного оливина, сохранившиеся после формирования метасоматических кайм. Процесс метасоматической перекристаллизации, на наш взгляд, объясняет и образование ядер микрокристов, а также отдельных макрокристов размером 1 мм и более с содержанием $\text{FeO} > 8,5\text{--}9\%$ (см. табл. 1, 2). Зерна оливина с подобным составом чаще встречаются в массивных разновидностях кимберлитов, для которых характерен более железистый состав по сравнению с брекчиями.

В плане обсуждения генезиса оливина представляет интерес рассмотрение соотношения составов оливина из ядерных частей микрокристов и находящихся рядом макрокристов. На соответствующих графиках (см. рис. 3) чет-

ко видно, что в большинстве изученных образцов кимберлита из трубки Обнаженная значительная часть ядер микрокристов по составу не имеет аналогов в макрокристах. Различия обнаруживаются или в содержании FeO (обр. 7-384 и 7-392), или в содержании NiO (обр. 7-237 и 7-387). Как правило, содержание NiO в ядрах микрокристов ниже, чем в соседних макрокристах. Эти различия в составах тоже могут служить аргументом кристаллизации (или перекристаллизации) значительной части ядерных частей зональных микрокристов из кимберлитового расплава.

Обсуждая проблему происхождения оливинов в кимберлитах, следует иметь в виду, что их источником, помимо мантийных ксенолитов, могут быть оливины низкохромистой высокотитанистой мегакристной ассоциации минералов, для которых характерен относительно высокожелезистый состав [4, 11]. Материнским расплавом для мегакристов, так же как и для кимберлитов, служила астеносферная жидкость; при этом предполагается, что между мегакристами и вмещающим кимберлитом существовала генетическая связь [5, 12]. Хотя кимберлиты трубки Обнаженная не содержат минералы мегакристной ассоциации, для подавляющего большинства кимберлитовых тел Якутской провинции, в том числе и из Куойкского поля, их наличие является типичным. Генетическая связь кимберлитов с мегакристами указывает на то, что первичный кимберлитовый расплав (астеносферная жидкость) имел относительно железистый, высокотитанистый состав.

Заключение. Сравнение составов оливина макрокристов и зональных микрокристов из 5 образцов кимберлитов разного состава брекчиевой и массивной текстуры, а также оливина мантийных ксенолитов трубки Обнаженная показало, что часть оливина с повышенным содержанием FeO ($>8,6\%$), которое выше, чем в оливине из мантийных ксенолитов, кристаллизовалась из кимберлитового расплава. Количество

кристаллизовавшегося оливина зависело от состава расплава, от соотношения газовой и жидкой фаз в расплаве, которое обуславливает становление массивной и брекчиевой разновидностей кимберлитов. Максимальный объем кристаллизации оливина прошел в массивных разновидностях кимберлита, в которых, если судить по данным состава, кристаллизовались и микрокристы, и часть макрокристов.

Даже в афанитовых разновидностях гипабиссальных кимберлитов содержание оливина, кристаллизовавшегося из расплава, варьирует от 0 до 40% от основной массы [15]. Существенные колебания в содержании микрокристов и макрокристов оливина в кимберлитах связаны как с количеством захваченного обломочного материала литосферной мантии и кристаллизующегося из кимберлитового расплава, так и с процессами гравитационной отсадки минералов, их перераспределения во время восхождения расплава-флюида с мантийных глубин к поверхности Земли.

В заключение заметим, что вопрос количества оливина, кристаллизующегося из кимберлитового расплава, следует считать открытым для дальнейшей дискуссии.

Благодарности. Авторы признательны руководству Амакинской и Полярной экспедиций АК АЛРОСА за действенную помощь в организации полевых работ на Крайнем Севере. Исследования были выполнены благодаря финансовой поддержке по интеграционным грантам № 59, 115 и 27.1 и х/д № 1/11 с НИГП АК АЛРОСА.

Библиографический список

1. Бойд Ф.Р., Клемент К.Р. Зональность состава оливинов в кимберлите из трубки Де Бирс, Кимберли, Южная Африка // Проблемы петрологии земной коры и верхней мантии. Новосибирск: Наука, 1978. С. 364–375.
2. Доусон Дж. Кимберлиты и ксенолиты в них. М.: Мир, 1983. 300 с.
3. Ковальский В.В. Кимберлитовые породы Якутии и основные принципы

их петрогенетической классификации. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 184 с.

4. Костровицкий С.И. Геохимические особенности минералов из кимберлитов. Новосибирск: Наука, 1986. 263 с.

5. Костровицкий С.И., Соловьева Л.В., Алымова Н.В., Яковлев Д.А., Суворова Л.Ф., Сандиминова Г.П., Травин А.В., Юдин Д.С. Кимберлиты и мегакристная ассоциация минералов – изотопно-геохимические исследования. Петрология. 2013. Т. 21, № 2. С. 143–162.

6. Уханов А.В., Бородаев Т.Ю., Бородаев Ю.С. Состав и зональность оливинов из трубки Удачная как отражение пути развития кимберлитовой магмы. // Геохимия. 1982. № 5. С. 664–675.

7. Brett R.S., Russel J.K., Moss S. Origin of olivine in kimberlite: phenocryst or imposter? Lithos. 2009. V. 112S. P. 201-212.

8. Dawson J.B., Hawthorne J.B. Magmatic sedimentation and carbonatic differentiation in kimberlite sills at Benfontein, South Africa. J. Geol. Soc. Lond. 1973. V. 129. P. 61–85.

9. Kamenetsky, V.S., Sobolev A.V., Golovin, A.V., et al. Olivine in the Udachnaya-East kimberlite (Yakutia, Russia): type, compositions and origins. Journal of Petrology. 2008. V. 49. P. 823–839.

10. Mitchell R.H. Composition of olivine, silica activity and oxygen fugacity in kimberlite. Lithos. 1973. V. 6. N 1. P. 65–81.

11. Mitchell R.H. Kimberlites: mineralogy, geochemistry, and petrology. New York. Plenum Press. 1986. 442 p.

12. Nowell G.M., Pearson D.G., Bell D.R., Carlson R.W., Smith C.B. and Noble S.R. Hf isotope systematics of kimberlites and their megacrysts: new constraints on their source regions. J. of Petrology. 2004. V. 45. N. 5. P. 1583–1612.

13. Pilbeam L.N., Nielsen T.F.D., Waight T.E. Digestion fractional crystallization (DFC): an important process in the genesis of kimberlites. Evidence from olivine in the Majuagaa kimberlite, Southern

West Greenland. *Journal of Petrology*. 2013. V. 54. N 7. P. 1399–1425.

14. Scott Smith B.H., Nowicki T.E., Russel J.K., Webb K.J., Mitchell R.H., Hetman C.M., Harder M., Skinner E.M.W., and Robey J.A. Kimberlite terminology and classification. *Journal of the Geological Society of India*. 2013.

15. White J.L., Sparks R.S.J., Balley K., Barnett W.R., Field M., Windsor L. Kimberlite sills and dykes associated with the Wesselton kimberlite pipe, Kimberley, South Africa. *South African Journal of Geology*. 2012. V. 115. P. 1–32.

Рецензент кандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник Института геохимии СО РАН Т.Б. Колотилина