

УДК 552.31.5+552.321.6(571.56)

## ПРИРОДА ФЛОГОПИТ-ИЛЬМЕНИТОВЫХ И ИЛЬМЕНИТОВЫХ ПАРАГЕНЕЗИСОВ В МАНТИЙНЫХ КСЕНОЛИТАХ ИЗ ТРУБКИ УДАЧНАЯ

Л. В. Соловьева<sup>1</sup>, С. И. Костровицкий<sup>1,2,\*</sup>, Т. В. Калашникова<sup>2</sup>, А. В. Иванов<sup>1</sup>

Представлено академиком РАН Н.П. Похиленко 13.03.2017 г.

Поступило 03.04.2017 г.

Приводится описание петрографии и химизма минералов в трёх деформированных ксенолитах с первичными ильменитом и флогопитом из кимберлитовой трубки Удачная. Возраст деформированных порфиروкластов флогопита из этого ксенолита ( $367,1 \pm 1,4$  млн лет) близок возрастам мегакристов флогопита и вмещающим кимберлитам из трубки Удачная. Железистый характер минералов, присутствие ильменита и флогопита, а также сравнительно низкие температуры равновесия ( $\sim 1050\text{--}1150$  °С), рассчитанные для 6 ГПа, могут свидетельствовать о том, что исследованные породы были кумулатами остаточных низко-*T*-расплавов после кристаллизации большей части низкоСг-мегакристов. Полученные данные указывают на сопряжённость процессов деформации в литосферной мантии, кристаллизации низкоСг-мегакристовой ассоциации минералов и образования кимберлитовых расплавов.

*Ключевые слова:* ильменит, флогопит, деформированные лерцолиты, остаточный расплав,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возраст.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524862223-227>

Флогопитовые (Phl) и ильменитовые (Ilm) парагенезисы глубинных ксенолитов привлекают внимание исследователей мантийного вещества, вынесенного кимберлитами, как свидетельства глубинных процессов, приводящих к модификации мантийной литосферы и формированию протокимберлитовых расплавов [1–3]. В настоящей работе мы приводим новые данные по петрографии, минералогии из трёх ксенолитов ильменит-содержащих перидотитов из трубки Удачная, один из которых содержит первичный Phl (обр. 00-83). Phl из этого ксенолита был датирован  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -методом.

Состав минералов изучался на микроанализаторе JXA-8200 в Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (Иркутск). Датирование слюды из Phl-Ilm-Ol-породы  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -методом осуществлено в Институте земной коры СО РАН с использованием мультиколлекторного масс-спектрометра Argus VI

<sup>1</sup>Институт земной коры  
Сибирского отделения Российской Академии наук,  
Иркутск

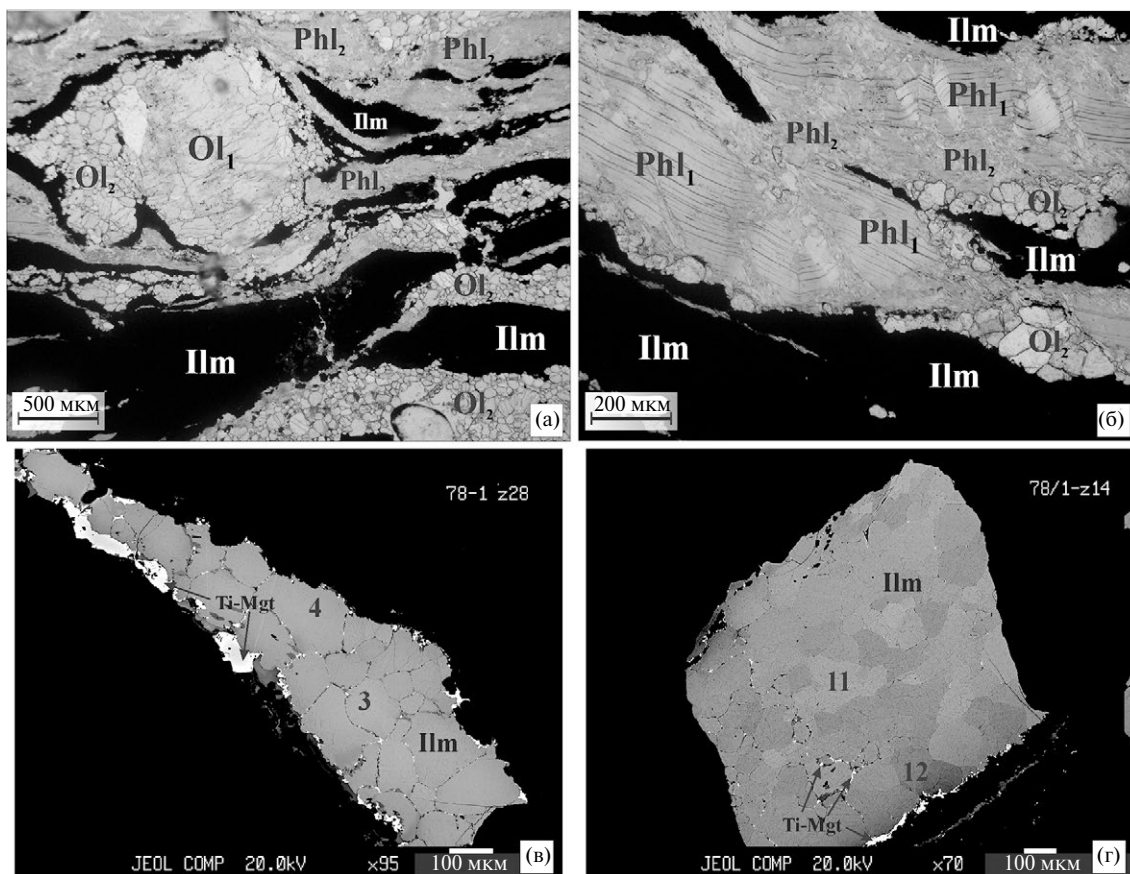
<sup>2</sup>Институт геохимии им. А.П. Виноградова  
Сибирского отделения Российской Академии наук,  
Иркутск

\*E-mail: [serkost@igc.irk.ru](mailto:serkost@igc.irk.ru)

с высоковакуумной печью двойного вакуума. Методика анализа подробно описана в работе [4].

*Краткое описание исследованных ксенолитов.* Обр. 00-83 состоит из Ol (25–30%), Phl (40–45%) и Ilm (25–30%) с более поздними акцессорными Ti-магнетитом (Ti-Mgt), сфеном и магнетитом (Mgt). Порода сильно деформирована и имеет полосчатую текстуру (рис. 1а, б). Ol сохранился в виде порфирокласт (0,3–1 мм), переходящих в краевых частях в мозаичную порфиробластовую матрицу (рис. 1а). Линзовидные порфирокласты Phl (20–600 мкм) расташены и нередко образуют микроскладки (рис. 1б). Явно деформированные порфирокласты слюды погружены в мелкочешуйчатый Phl-агрегат, образующий вытянутые полосы, параллельные полосам Ilm и мозаичного Ol. Для полос Ilm характерны линзовидные утолщения, ориентированные по общему направлению. На микрозонде хорошо видна полигональная структура Ilm с размерами полигонов 20–250 мкм (рис. 1в, г). В целом структуру породы можно определить как порфирокластическую.

Обр. У-218в представлен Ol (65–70%) — Ilm (25–30%) — Сrx (3–5%) породой с полосчатой порфирокластической структурой. В целом эта порода менее деформирована, чем ксенолит 00-83. Порфи-



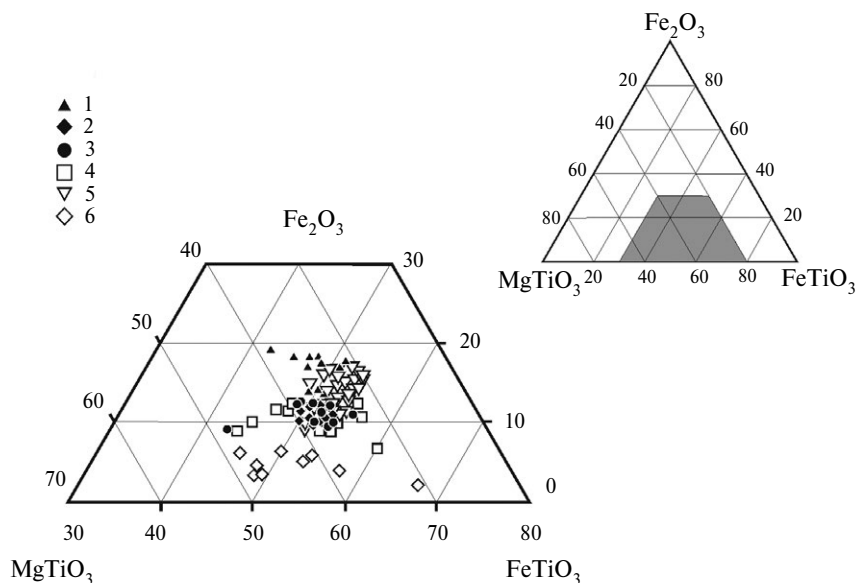
**Рис. 1.** Особенности структуры в Phl–Pim–Ol-породе 00-83 (а, б), в зерне Pim из этого ксенолита (в) и в зерне Pim из Pim–Срх–Ol-породы У-218в (г). На а, б показана полосчатость из преимущественно Ol, Phl и Pim слоёв. Ol<sub>1</sub> — относительно крупный порфирокласт Ol, состоящий из доменов с разной оптической ориентировкой; Ol<sub>2</sub> — мелкие мозаичные бласты Ol (а). Phl<sub>1</sub> — гофрированные порфиробласты Phl, окружённые мелкозернистым Phl<sub>2</sub> (б). а, б — микрофото, без анализатора; в, г — фото СОМРО на микрозонде.

рокласты Ol (0,5–3 мм) состоят из нескольких разноориентированных доменов и погружены в тонкозернистую мозаичную оливиную матрицу. Pim образует относительно крупные (0,3–2 мм) зёрна, вытянутые параллельно полосчатости. Редкие зёрна Срх (0,5–2 мм) бледно-зелёного цвета располагаются внутри вытянутых полос, сложенных преимущественно Ol и Pim. Последний, как и в обр. 00-83, имеет полигональное строение (рис. 1г). По краям зёрен Pim и между полигонами внутри них развиты тонкие выделения Ti–Mgt и Mgt.

Обр. 01-223 представлен кавернозным равномерно-зернистым Pim–Grt верлитом: 6–8% Pim, 3–5% Grt, 7–8% Срх, 75–80% Ol, ~ 10% каверн. Каверны (0,3–2 мм) имеют овальную форму, приурочены к зёрнам Pim и окаймлены чёрным пузыристым веществом за счёт оплавления. Внутри каверн частично сохранилось серое афанитовое вещество, выполненное микрочастицами зонального Ol, зонального Ti–Mgt, Ti–Phl и кальцита. Pim имеет полигональное строение, как в ксенолитах дефор-

мированных ксенолитов 00-83 и У-218в, что указывает на начальную стадию деформации породы. Срх образует в породе две генерации: округлые и овоидальные зёрна (0,2–0,7 мм), включённые в Ol и Grt, и неправильные призматические зёрна (0,5–2 мм) в основной породе. Красно-оранжевые изометричные зёрна Grt окружены чёрной келифитовой каймой, заходящей в зерно по трещинам.

Все минералы имеют сравнительно железистый характер и по составу близки соответствующим минералам из наиболее железистых деформированных гранатовых лерцолитов из трубки Удачная [5, 6]. Ol имеет узкий диапазон магнезиальности (mg#) = 0,85–0,87 и соответствуют железистой ветви мегакристов из трубки Удачная [7–9]. Срх из обр. У-218в, 01-223 и гранат (Grt) из обр. 01-223 также близки по составу мегакристам низкоCr-ассоциации из трубки Удачная [7, 10]. Флогопит 00-83 попадает в интервал составов Phl-мегакристов из трубки Удачная и идентичен Phl из PZ<sub>2</sub> трубки Юбилейная [10].

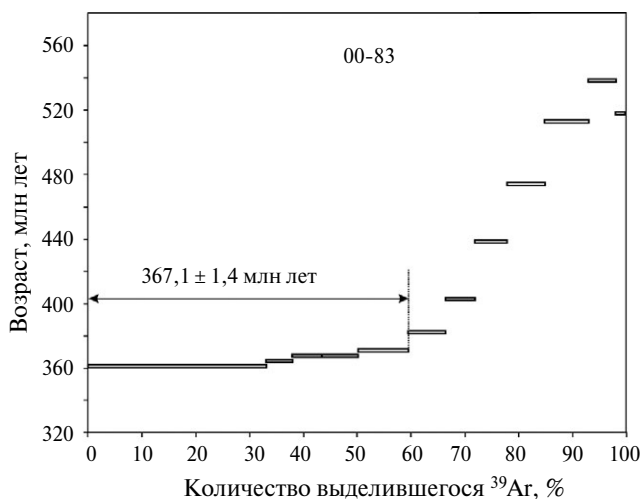


**Рис. 2.** Составы Илм из разных парагенетических групп на треугольной диаграмме  $MgTiO_3-Fe_2O_3-FeTiO_3$ . 1 — обр. 00-83; 2 — обр. У-218в; 3 — обр. 01-223; 4 — Илм из ксенолитов в трубке Удачная (наши данные, [7]); 5 — Илм из макро-, мегакристов из трубки Удачная (наши данные); 6 — Илм из полимиктовых перидотитов по [2, 3].

На тройную диаграмму в координатах миналов  $MgTiO_3-Fe_2O_3-FeTiO_3$  (рис. 2) нанесены измеренные составы разных полигонов в зёрнах Илм из исследованных ксенолитов, Илм из макрокристов и мегакристов и из Илм перидотитов из трубки Удачная. Показаны также составы Илм из полимиктовых брекчий из трубок разного возраста по данным [2, 3]. Точки составов разных полигонов ильменита в наших образцах имеют существенный разброс. Составы Илм из ксенолита 00-83 заметно сдвинуты к вершине гематитового минала и расположены вблизи наиболее окисленных ильменитов из макро- и мегакристов трубки Удачная. Точки Илм-полигонов из ксенолитов У-218в, 01-223 лежат в поле точек наименее окисленных макро- и мегакристов, а также среди точек Илм-перидотитов из трубки Удачная. Точки Илм из полимиктовых брекчий располагаются в самой нижней части диаграммы, параллельно линии  $MgTiO_3-FeTiO_3$ . Характерной особенностью составов Илм из наших образцов, а также из ильменитовых перидотитов трубки Удачная и из полимиктовых брекчий является примерно одинаковое высокое содержание  $Fe_2O_3$  молекулы в каждом парагенезисе при разном соотношении  $MgTiO_3$  и  $FeTiO_3$  молекул. По-видимому, кристаллизация первичного Phl-Илм-Ол-парагеклинопироксена  $1077^\circ C$  незначительно выше для обесцвеченной изменённой каймы:  $1054^\circ C$ . Температуры  $T^1$  и  $T^2$  ( $1134^\circ$  и  $1151^\circ C$ ) для центральных частей зёрен Срх в обр. 01-223 заметно выше температуры изменённого края зерна  $T^3$  ( $1095^\circ C$ ) и температуры  $T^1$  в ксенолите У-218в.

В целом температуры для центральных частей зёрен в этих ксенолитах заметно ниже температур равновесия для деформированных безильменитовых гранатовых лерцолитов при 6 ГПа [9].

Определение возраста Phl методом  $^{40}Ar/^{39}Ar$ -датирования произведено для порфинокласт минерала размером 0,25–0,5 мм из ксенолита 00-83. Возраст плато  $367,1 \pm 1,4$  млн лет (рис. 3) идентичен возрасту кимберлитовой трубки Удачная  $367 \pm 3$  млн лет [12], полученному U-Pb-методом по перовскитам и  $^{40}Ar/^{39}Ar$ -методу по Phl. Костровицкий и соавторы [10] получили  $^{40}Ar/^{39}Ar$ -возраст мегакристалла Phl из трубки Юбилейная (Алакит-Мархинское поле),



**Рис. 3.** Возраст Phl из ксенолита 00-83 по данным  $^{40}Ar/^{39}Ar$ -анализа.

равный  $362,7 \pm 5,4$  млн лет. Состав Phl из этого мегакристалла (0,43%  $TiO_2$ , 0,22%  $Cr_2O_3$ ,  $mg\# = 0,90$ ) близок составу Phl из ксенолита 00-83.

Обсуждая генезис исследованных ксенолитов, заметим, что железистый характер минералов, присутствие Phl и окисленного Ptm свидетельствуют о том, что равновесные ксенолитам расплавы были обогащены Fe, Ti, K и летучими, и, таким образом, могли быть остаточными низко- $T$ -расплавами после кристаллизации основной части низко- $Cr$ -мегакристов. Об остаточном характере расплавов свидетельствуют также сравнительно невысокие температуры равновесия по сравнению с температурами кристаллизации деформированных гранатовых лерцолитов из трубки Удачная [6]. Возраст Phl из ксенолита 00-83 близок возрасту мегакристов Phl из кимберлитов и возрасту внедрения кимберлитовой трубки Удачная [10, 12].

Совпадение возраста порфирокластов Phl из деформированного ксенолита 00-83 с возрастом мегакристов Phl из кимберлитов трубок Удачная и Юбилейная, а также с возрастом самих кимберлитов [10, 12] указывает на близкое по времени развитие следующих процессов.

1. Кристаллизация низко- $Cr$ -мегакристовой ассоциации.

2. Интенсивная деформация пород мантийной литосферы на границе с астеносферой в период кимберлитобразующего цикла.

3. Формирование протокимберлитовых расплавов.

4. Наличие прожилков Ptm в ксенолите 00-83 даёт основание для предположения о происхождении этого минерала на уровне мантии в результате ликвидационных процессов.

Вывод о синхронности процессов кристаллизации мегакристовой ассоциации и образования кимберлитовых расплавов согласуется с данными о химической и геохимической близости граната из ассоциации низкохромистых мегакристов и из деформированных лерцолитов [6, 9]. Сопряжённость процессов деформации нижнего слоя литосферной мантии (деформированных лерцолитов), пограничного с астеносферой, образования кимберлитовых расплавов и кристаллизации мегакристовой ассоциации минералов является чрезвычайно важным фактом, который нельзя не учитывать при разработке генетических моделей формирования кимберлитов.

Требуются дополнительные геохимические и изотопные исследования, которые позволят более точно определить степень комагматичности расплавов, давших начало Phl—Ptm и Ptm-кумулятам, и протокимберлитовым расплавам.

**Источники финансирования.** Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по Проекту IX.129.1.5. (№ 0350—2016—0030). Работа выполнена с использованием научного оборудования ЦКП “Изотопно-геохимических исследований” ИГХ СО РАН.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Boyd F.R., Nixon P.H.* Lesotho kimberlite. Maseru: Lesotho National Development Corp., 1973. P. 254–268.
2. *Pokhilenko N.P.* // *Lithos*. 2009. V. 112S. P. 934–941.
3. *Giuliani A., Phillips D., Kamenetsky V., et al* // *J. Petr.* 2014. V. 55. № 4. P. 831–858.
4. *Киселев А.И., Ярмолюк В.В., Иванов А.В., Егоров К.Н.* // *Геология и геофизика*. 2014. № 2. С. 185–196.
5. *Егоров К.Н., Соловьева Л.В., Симакин С.Г.* // *ДАН*. 2004. Т. 497. № 1. С. 1011–1016.
6. *Соловьева Л.В., Лаврентьев Ю.Г., Егоров К.Н. и др.* // *Геология и геофизика*. 2008. Т. 49. № 4. С. 281–301.
7. *Соловьева Л.В., Владимиров Б.М., Днепровская Л.В., Масловская М.Н., Брандт С.Б.* Кимберлиты и кимберлитоподобные породы: Вещество верхней мантии под древними платформами. Новосибирск: Наука, 1994. 256 с.
8. *Костровицкий С.И., Спеццус З.В., Альмова Н.В., Суворова Л.Ф.* // *ДАН*. 2004. Т. 396. № 1. С. 93–97.
9. *Костровицкий С.И., Соловьева Л.В., Горнова М.А. и др.* // *ДАН*. 2008. Т. 420. № 2. С. 225–230.
10. *Костровицкий С.И., Соловьева Л.В., Яковлев Д.Ф. и др.* // *Петрология*. 2013. Т. 21. № 2. С. 1–21.
11. *Nimis P., Taylor W.R.* // *Contribs Mineral. and Petrol.* 2000. V. 139. P. 541–554.
12. *Юдин Д.С., Томиленко А.А., Травин А.В. и др.* // *ДАН*. 2014. Т. 455. № 1. С. 91–93.

**THE NATURE OF PHILOGOPITE–ILMENITE AND ILMENITE PARAGENESISSES  
IN DEEP-SEATED XENOLITHS FROM UDACHNAYA KIMBERLITE PIPE****L. V. Solov'eva<sup>1</sup>, S. I. Kostrovitsky<sup>1,2</sup>, T. V. Kalashnikova<sup>2</sup>, A. V. Ivanov<sup>1</sup>***<sup>1</sup>Institute of Earth Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation**<sup>2</sup>A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation*

Presented by Academician of the RAS N.P. Pokhilenko March 13, 2017

Received April 03, 2017

The article describes the petrography and mineralogy of xenoliths ilmenite-phlogopite containing deformed and granular peridotites from the Udachnaya-Eastern pipe. The age of phlogopite porphyroclast from the studied deformed xenoliths matches with age of phlogopite megacryst and itself hosted kimberlites from Udachnaya pipe indicating the following processes closed in time: 1) crystallization of the low-Cr megacryst association; 2) deformation of rocks on the mantle lithosphere — asthenosphere border during the kimberlite-forming cycle; 3) formation of protokimberlite melts.

*Keywords:* ilmenite, phlogopite, deformed lherzolite, residual melt, <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar age.