

УДК 549.01+552.13

МЕТАСОМАТИЧЕСКИЙ ГЕНЕЗИС ЛАМЕЛЕВИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В КЛИНОПИРОКСЕНАХ ИЗ МАНТИЙНЫХ КСЕНОЛИТОВ ТРУБКИ ОБНАЖЕННАЯ (КУОЙСКОЕ ПОЛЕ, ЯКУТСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ)

© 2023 г. Н. М. Королев^{1,*}, Л. П. Никитина¹, член-корреспондент РАН А. Б. Кузнецов^{1,2},
А. Г. Гончаров², О. Л. Галанкина¹, В. В. Шиловских², Н. С. Власенко²

Поступило 14.01.2023 г.

После доработки 28.02.2023 г.

Принято к публикации 01.03.2023 г.

Работа содержит новые данные о ранее неописанных ламелевидных (линейно ориентированных) структурах в клинопироксенах из мантийных ксенолитов гранатовых пироксенитов (трубка Обнаженная, Северная Сибирь). Образование и минеральное разнообразие ламелевидных структур в ксенолитах из трубки Обнаженная связываются исследователями с распадом твердых растворов при понижении *PT*-параметров в мантии. Настоящая работа показывает, что метасоматическая перекристаллизация первичного клинопироксена с линейными структурами распада приводит к образованию вторичных минеральных ассоциаций. Во вторичном клинопироксене воспроизводятся (наследуются) структуры с линейно ориентированными включениями, морфологически сходные с первичными структурами распада. Таким образом, в клинопироксенах со структурами распада из пироксенитовых ксенолитов трубки Обнаженная присутствуют две минеральные генерации с ламелевидными структурами — первичная и вторичная. Первичная ассоциация сложена диопсидом, вмещающим ламели энстатита, пиропы, шпинели и рутила. Вторичная (метасоматическая) генерация клинопироксена содержит в два раза меньше Al_2O_3 (3.4 мас. %) и Na_2O (1.7 мас. %), а также обогащена MgO и CaO по сравнению с первичным клинопироксеном, однако химический состав остается диопсидовым. Вместо ламелей ортопироксена (энстатита) в метасоматической ассоциации появляются ориентированные вроски паргасита (глиноземистого амфибола), а вторичный рутил обогащается хромом (до 3.1 мас. % Cr_2O_3).

Ключевые слова: Сибирский кратон, пироксенит, литосфера, мантия, метасоматоз

DOI: 10.31857/S2686739723600066, EDN: UJKAPW

ВВЕДЕНИЕ

Кимберлитовая трубка Обнаженная расположена на Оленекском поднятии на северо-восточной окраине Сибирского кратона [1–3]. Эта трубка относится к Куойкскому кимберлитовому полю, формирующему самую северную часть Якутской кимберлитовой провинции. Куойкское поле включает наиболее молодые трубки юрского возраста (171–156 млн лет) [1, 4, 5], которые не содержат алмазов в отличие от палеозойских и триасовых трубок Далдын–Алакитского кимберлитового поля Якутии. Кимберлиты Обнаженной

выходят на поверхность и содержат обломки мантийных и осадочных пород.

Гранаты, клино- и ортопироксены из гранатовых пироксенитов и эклогитов трубки Обнаженная содержат большое количество ламелевидных структур, представляющих собой линейно ориентированные включения амфибола, граната, ильменита, кварца, клинопироксена, кричтонита, оливина, ортопироксена, рутила и хромита; клинопироксены (детальному изучению этого пороодообразующего минерала посвящена настоящая работа) содержат все перечисленные минералы за исключением кварца [6–11]. Появление подобных структур в образцах из трубки Обнаженная, как и во многих мантийных ксенолитах по всему миру, связывается исследователями со ступенчатой декомпрессией и стадийным охлаждением пород верхней мантии [8, 11]. Состав вебстеритов из мантийных ксенолитов трубки Обнаженная (с учетом продуктов распада) показывает, что они

¹Институт геологии и геохронологии докембрия
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: korolev.nm@gmail.com

происходят из сверхглубинных обстановок (>6.0 ГПа), где стабилен мейджорит [8, 11]. Таким образом, высокотемпературные предшественники пироксенитов должны были образоваться в условиях, близких к сухому солидусу [11]. Перидотитовые ксенолиты содержат свидетельства в пользу двухстадийного прогрева мантийных пород в Куойкском поле [3] и неоднократной метасоматической переработки [12, 13]. Разогрев мантии в этом регионе мог быть связан с несколькими этапами рифтогенеза, приведшим к формированию хорбосуонских базальтов в раннем кембрии, Вилюйской магматической провинции в девоне и сибирских траппов в перми-триасе. Последнее наиболее масштабное магматическое событие было инициировано Сибирским суперплюмом [14, 15]. Этапы прогрева верхней мантии чередовались стадиями охлаждения и декомпрессии [9]. Как следствие, мантийные ксенолиты, вынесенные трубкой Обнаженная, содержат большое количество различных типов ламелевидных структур (минеральный состав фаз распада перечислен выше) [6–11].

Однако влияние наложенных мантийных процессов, таких как метасоматическое изменение и перекристаллизация (в том числе под действием кимберлитовой расплава), на минеральные парагенезисы со структурами распада изучено недостаточно. Мантийный метасоматоз — важнейший геологический фактор, приводящий не только к изменению химического состава первичных минералов, но и к образованию новых минеральных ассоциаций в мантийных породах.

Настоящая работа посвящена исследованию гранатовых пироксенитов из кимберлитовой трубки Обнаженная, которые содержат новые ранее неописанные ламелевидные структуры в клинопироксенах. Появление этих ламелевидных структур связано с наложенным метасоматическим событием. Цель настоящего исследования — показать, что метасоматическая перекристаллизация повлияла на минералы, уже включающие структуры распада, и привела к появлению новых минеральных ассоциаций, замещающих исходные эксклюзионные фазы и воспроизводящих (наследующих) морфологию структур распада.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Трубка Обнаженная представляет собой выход кимберлитовых пород 30×45 м и высотой около 20 м на берегу реки Куойка, левом притоке реки Оленек. Породы трубки прорывают доломиты туркутской свиты хорбусунской серии [1], представляющей кровлю венда [16]. Трубка содержит брекчиевидные класты преимущественно осадочных и метаморфических пород, а также небольшое количество ксенолитов мантийных пород до 1% от объема кимберлитовой брекчии, из

которых более половины — пироксениты (44%) и эклогиты (12%) [2]. Остальные мантийные и ультраосновные ксенолиты представлены гарцбургитами, лерцолитами и флогопит-ильменитовыми гипербазитами [2]. Цементирующий матрикс представлен перетертым материалом кластов и карбонатным цементом.

Для нашего исследования были отобраны монофракции клинопироксена и граната из мантийных ксенолитов Об-28, Об-149 и Об-138. Изучение указанных образцов было проведено ранее Ухановым и др. [2], который определил их как гранатовые пироксениты с равнозернистой текстурой, где клино- и ортопироксен присутствуют в примерно равной пропорции. Пироксениты представляют из себя крупнозернистую породу с размером зерен породообразующих минералов ~5 мм. Более полное петрографическое описание, а также валовые силикатные составы изученных образцов приведены в работе Уханов и др. [2].

Здесь необходимо отметить, что мы поддерживаем определение породы как гранатовый вебстерит, предложенное Ухановым и др. [2] на основании модального содержания минералов в породе, несмотря на то, что для двух образцов химический состав породообразующего клинопироксена, как будет показано ниже, соответствует омфациту — типичному минералу эклогитового парагенезиса. Подобная дискуссия уже имела место для мантийных ксенолитов из трубки Обнаженная, когда одни и те же образцы с одним и тем же модальным содержанием минералов в породе и одним и тем же химическим составом породообразующих минералов, сначала были названы Qi, et al. [6] эклогитами, а затем пересмотрены Taylor, et al. [7] как вебстериты. Это может напрямую повлиять на интерпретацию происхождения породы. Однако для целей настоящей статьи, где мы рассматриваем процессы метасоматического изменения исходной минеральной ассоциации вне зависимости от ее происхождения, не является существенным.

Минеральные зерна были вмонтированы в эпоксидные шайбы, на которые наносилось графитовое напыление. Морфология и химический состав минералов изучены на сканирующем электронном микроскопе “Hitachi” S-3400N с энергодисперсионным спектрометром Oxford X-Max 20 (Ресурсный центр “Геомодель” СПбГУ) и на электронно-зондовом микроанализаторе “JEOL” JXA-8230 (ЦКП “АИРИЗ”, ИГГД РАН [17]). Калибровка спектрометров произведена с использованием стандартов из природных и синтезированных материалов. Алгоритм ZAF применялся для коррекции матричного эффекта. Минимальный предел обнаружения элементов на энергодисперсионном спектрометре Oxford X-Max 20

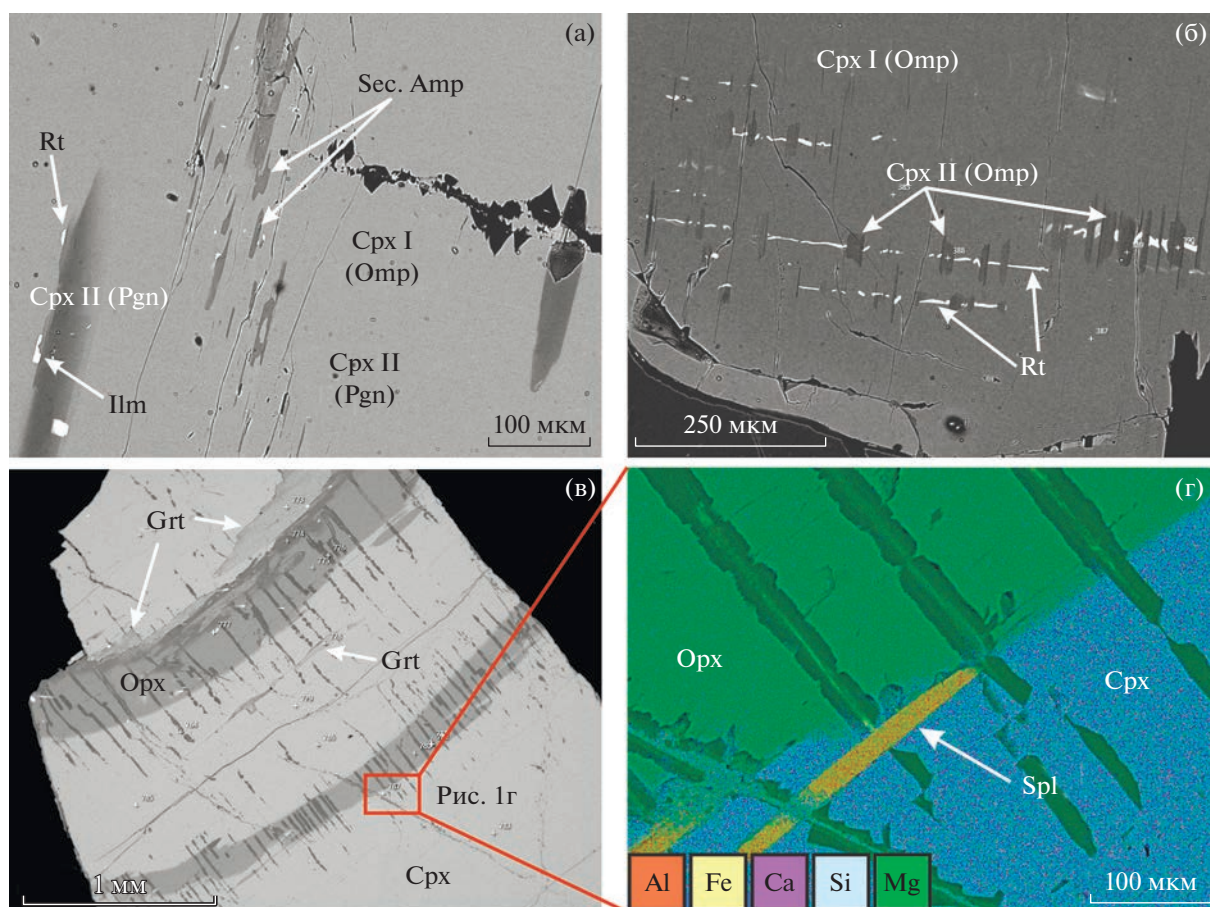


Рис. 1. Структуры распада в породообразующих клинопироксенах из мантийных ксенолитов трубки Обнаженная (BSE-изображения). (а) Рутит (Rt), ильменит (Ilm) и клинопироксен (пижонит — Cpx II (Pgn)) в виде ламелей во вмещающем клинопироксене (Cpx I) из ксенолита Об-149. Sec. Amp — вторичный амфибол. (б) Омфациит (Cpx I (Omp)), содержащий в качестве продуктов распада рутит (Rt), и новообразованный омфациит (Cpx II (Omp)). Образец Об-28. (в) Ламели граната (Grt) светло-серого цвета и ортопироксена (Opx) темно-серого цвета в клинопироксене из вебстрита Об-138. Самые темные ламелеподобные структуры, секущие ламели ортопироксена, — частично серпентинизированные трещины. (г) Мультиэлементная карта отдельного фрагмента (красная область на рис. 1 в) с фазами распада во вмещающем клинопироксене из вебстрита Об-138. Цвета, указанные для Al, Fe, Ca, Si и Mg, — их относительные концентрации. Чем ярче цвет, тем выше относительная концентрация элемента.

составил <0.3 мас. %, а на микроанализаторе “JEOL” JXA-8230 <0.05 мас. % (<0.08 мас. % для TiO_2).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Породообразующий клинопироксен (Cpx I) в образцах Об-28 и Об-149 является омфациитом с низким (25–26%) содержанием жадеитового минала (табл. 1). Клинопироксен (Cpx I) из обоих образцов содержит фазы распада, представленные новообразованным клинопироксеном (Cpx II), рутилом и иногда ильменитом (рис. 1 а и б). В образце Об-28 клинопироксен в эксклюзивных ламелях (Cpx II) является омфациитом, но с более высоким содержанием MgO (до 16.2 vs 12.8 мас. %), Al_2O_3 (до 10.8 vs 6.6 мас. %), и пониженным содержанием CaO (12.8 vs 17.8 мас. %) по

сравнению с вмещающим породообразующим омфациитом (Cpx I) (табл. 1). В образце Об-149 состав клинопироксена в ламелях отвечает пижониту (рис. 1 а и табл. 1), он содержит еще больше MgO (26.6 мас. %) и FeO (2.6 vs 5.4 мас. %) и меньше CaO (7.4 мас. %) (табл. 1). Магнезиальность $[\text{Mg}\# = \text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})]$, моль. %] во всех описанных разновидностях клинопироксена, включая породообразующий, практически не меняется и колеблется в диапазоне 88.9–89.7. В составе рутила присутствуют примеси FeO , Cr_2O_3 , Al_2O_3 , суммарно <2.2 мас. % (табл. 1).

Пироксенит Об-138 содержит клинопироксен с фазами распада, представленными гранатом, ортопироксеном, рутилом и шпинелью (рис. 1 в и г). Этот клинопироксен показывает следы поздней перекристаллизации. По морфологическим признакам и содержащимся в нем фазам распада,

Таблица 1. Состав фаз распада вмещающего их клинопироксена (минерал-хозяин), а также породообразующего граната из ксенолитов тр. Обнаженная

Мин	Область	N	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	NiO	Сумма
Гранатовый пироксенит Об-28													
Омр (Срх I)	минерал-хозяин	2	54.12	0.62	6.61	0.25	2.71	n.d.	12.80	17.81	3.69	n.d.	98.61
Ргр	минерал-хозяин	2	41.19	0.19	23.05	0.32	9.97	0.32	19.66	3.87	n.d.	n.d.	98.57
Омр (Срх II)	ламель_1 в Омр	2	51.02	0.45	9.37	0.26	3.09	n.d.	14.89	14.90	4.27	n.d.	98.25
Омр (Срх II)	ламель_2 в Омр	1	50.61	0.56	10.83	0.24	3.61	n.d.	16.24	12.77	4.46	n.d.	99.32
Rt	ламель в Омр	1	n.d.	97.97	0.26	0.57	0.67	n.d.	n.d.	0.26	n.d.	n.d.	99.73
Гранатовый пироксенит Об-149													
Омр* (Срх I)	минерал-хозяин	9	53.71	0.61	7.48	0.07	2.62	0.05	12.89	17.76	3.99	<MDL	99.18
Ргр*	минерал-хозяин	9	41.79	0.13	24.04	0.07	9.85	0.31	19.49	3.98	<MDL	<MDL	99.66
Ргн (Срх II)	ламель в Омр	1	53.30	0.30	3.60	<MDL	5.42	<MDL	26.61	7.40	0.67	n.d.	97.30
Еп*	ламель в Омр	1	55.34	0.10	2.89	<MDL	6.69	0.08	32.44	1.47	0.15	0.14	99.30
Rt	ламель в Омр	1	0.16	96.86	0.48	<MDL	1.67	<MDL	<MDL	0.13	n.d.	n.d.	99.30
Гранатовый пироксенит Об-138													
Di* (Срх I)	минерал-хозяин	6	53.60	0.47	5.98	0.80	1.11	<MDL	14.43	20.47	2.79	<MDL	99.65
Ргр*	минерал-хозяин	9	42.34	0.09	23.82	0.95	6.44	0.25	21.16	4.59	<MDL	<MDL	99.64
Ргр	ламель в Di	2	42.58	<MDL	23.16	0.84	7.55	0.28	21.14	4.14	n.d.	n.d.	99.67
Еп*	ламель_1 в Di	3	57.55	<MDL	1.55	0.17	3.46	0.06	36.68	0.19	<MDL	0.09	99.75
Еп*	ламель_2 в Di	3	56.13	0.08	2.98	0.22	4.33	0.09	35.01	0.17	<MDL	0.10	99.11
Spl	ламель в Di	1	0.43	<MDL	57.79	9.85	8.05	<MDL	21.31	0.55	<MDL	0.38	98.36
Об-138 (Рис. 2):													
<i>Часть I</i>													
Срх I (Di)*	минерал-хозяин	3	53.46	0.49	6.02	0.81	1.12	<MDL	14.48	20.48	2.78	<MDL	99.64
Еп	ламель в Срх I	2	56.71	<MDL	2.49	0.25	3.63	n.d.	35.65	0.23	<MDL	n.d.	98.95
<i>Часть II</i>													
Срх II*	минерал-хозяин	3	53.74	0.16	3.44	0.75	1.30	<MDL	15.82	22.03	1.75	<MDL	98.99
Амр	ламель в Срх II	3	45.62	0.60	12.05	1.06	2.16	n.d.	19.45	11.28	3.68	n.d.	95.90
Rt	ламель в Срх II	1	<MDL	94.45	<MDL	3.14	0.88	<MDL	<MDL	0.24	n.d.	n.d.	98.71

Примечание. N – количество анализов, по которым усреднялся состав; <MDL – меньше предела обнаружения; n.d. – нет данных; * Состав минералов определен методом ЕРМА (ИГД РАН), состав остальных минералов определен в центре коллективного пользования “Геомодель” СПбГУ. Аббревиатуры минералов (Мин.): Срх – клинопироксен, Di – диопсид, Еп – энстатит, Ргн – пиджонит, Ргр – пирроп, Spl – шпинель, Rt – рутил.

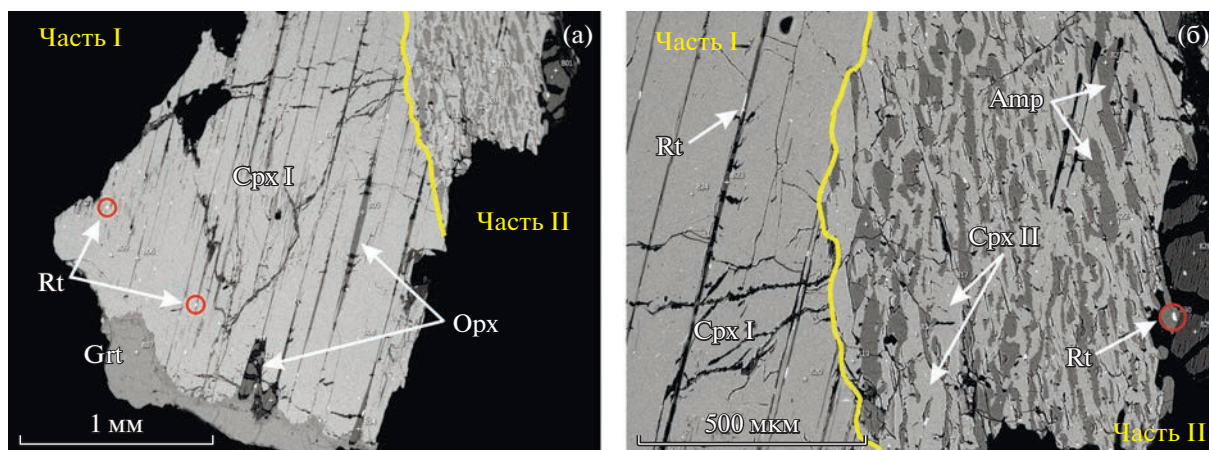


Рис. 2. Перекристаллизация клинопироксена (Cpx I) с эксклюзионными ламелями ортопироксена (Orpx) и рутила (Rt) (часть I) с образованием нового клинопироксена (Cpx II) и амфибола (Amp) (часть II). Grt – гранат. Вебстерит Об-138, BSE-изображение.

он может быть разделен на две части (рис. 2). Исходная неизменная часть I сложена диопсидом (табл. 1). Перекристаллизованная часть II сложена диопсидом с меньшим содержанием Al_2O_3 (3.4 vs 6.0 мас. %) и Na_2O (1.8 vs 2.8 мас. %) и повышенным – MgO (15.8 vs 14.5 мас. %) и CaO (22.0 vs 20.5 мас. %). Амфибол – паргасит занимает около 50% в перекристаллизованной части зерна (часть II на рис. 2). Кроме того, в измененной части II рутил обогащен Cr_2O_3 (3.1 мас. %, табл. 1). Из-за малых размеров зерен рутила из части I (рис. 2) представительных анализов получить не удалось; однако спектры элементов, полученные на электронном микроскопе с энергодисперсионным спектрометром, показали отсутствие Cr_2O_3 в рутиле.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Проведенное нами исследование показывает, что охлаждение и декомпрессия мантии на глубине не являются единственным фактором появления ламелевидных структур в пироксенитах. В мантийных породах Куойкского поля были широко проявлены процессы карбонатного и силикатного метасоматоза, следы которых выявлены, главным образом, в перидотитах [12–14]. Подобная широкомасштабная метасоматическая активность не могла не затронуть другие породы литосферной мантии – пироксениты и эклогиты. Часть срастаний, морфологически похожих на ламелевидные структуры распада, может являться следствием метасоматической перекристаллизации минералов, в которых до этого уже находились фазы распада (напр., [18]). Хорошей иллюстрацией этому служит изученный гранатовый пироксенит Об-138 (рис. 2). Перекристаллизация диопсида с ламелями ортопироксена и рутила

приводит к образованию нового диопсида с повышенным содержанием MgO и CaO , в котором вместо ортопироксена появляется большое количество закономерно ориентированных вростков паргасита, а рутиловые вкрапления обогащаются хромом (рис. 2 и табл. 1).

В клинопироксене-хозяине Об-28 и Об-149 ламели клинопироксена имеют неясное происхождение, нередко они приурочены к зонам трещиноватости. Составы породообразующих омфацитов, вмещающих ламели, в пироксенитах Об-28 и Об-149 очень близки – разница в содержании главных элементов не превышает 0.4 мас. %, за исключением Al_2O_3 ($\Delta = 0.9$ мас. %) (табл. 1). Этот факт наряду с сильно различающимся составом клинопироксеновых ламелей, который варьирует от пижонитового до омфацитового (табл. 1), позволяет предположить, что различный состав ламелей в близких по составу вмещающих клинопироксенах обусловлен наложенным метасоматическим процессом. Такая картина, в отношении изменения химического состава, подобна повсеместно встречаемым “губчатым” структурам в клинопироксенах мантийных эклогитов [19, 20], образование которых происходит в результате совокупного воздействия декомпрессии при подъеме и кимберлитового расплава/флюида, пропитывающего ксенолиты по трещинам [20]. Здесь следует подчеркнуть, что сходство заключается в тенденции изменения химического состава клинопироксена “минерал-хозяин → ламель” в сторону составов, обогащенных MgO и FeO (табл. 1). Морфологически “губчатые” структуры и наблюдаемые нами фазы распада с ламелями клинопироксена в клинопироксене (Об-28 и Об-149) не имеют ничего общего. Однако мы полагаем, что метасоматически вызванное изменение состава клинопироксена могло проис-

ходить в обоих случаях по похожему сценарию. Возможно, присутствие расплава/флюида могло привести к фрагментарной перекристаллизации клинопироксена с его замещением и образованием ламелевидных участков нового омфацита или пижонита вдоль ослабленных зон (рис. 1 а). Кроме того, зерна клинопироксена с ламелями клинопироксена могут представлять из себя уже перекристаллизованные фрагменты, где разный состав ламелей (пижонит или омфацит) во вмещающем омфаците образцов Об-28 и -149, предположительно, связан с составом метасоматизирующего флюида, нежели контролируется составом вмещающего клинопироксена. Тем не менее это предположение относительно геологической истории образцов Об-28 и -149 остается дискуссионным, и, как мы убеждены, гранатовые пироксениты со структурами распада из трубки Обнаженная, особенно с ламелями или ламелеподобными фазами “клинопироксен-в-клинопироксене”, требуют дальнейшего комплексного и всестороннего изучения. Несмотря на это, уже полученные нами результаты, базирующиеся главным образом на изучении ксенолита Об-138 (рис. 2), достаточно хорошо демонстрируют еще один, ранее не описанный, путь образования ориентированных ламелевидных структур, морфологически схожих с первичными структурами распада. Таким образом, формирование, по крайней мере части вторичных ламелевидных структур в клинопироксенах из ксенолитов кимберлитовой трубки Обнаженная, происходило в результате замещения первичных мантийных минералов в структурах распада под воздействием метасоматического флюида/расплава. Наилучшей иллюстрацией этому процессу служит образец Об-138, содержащий первичную и перекристаллизованную части в одном зерне клинопироксена (части I и II на рис. 2).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что охлаждение мантии и различные пути образования мантийных пород — не единственные факторы, определяющие разнообразие ламелевидных структур в мантийных минералах Сибирского кратона, а вероятно, и в мантии других кратонов по всему миру. Наложенная метасоматическая перекристаллизация, затронувшая минералы, уже содержащие структуры распада, может привести к появлению новых минеральных ассоциаций, замещающих исходные эксклюзионные фазы и наследующих морфологию структур распада.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны А.В. Уханову за предоставленную коллекцию образцов и помощь в петрографическом изучении.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках темы НИР ИГГД РАН № FMUW-2022-0004 при использовании оборудования ЦКП “АИРИЗ” [17] и РЦ Геомодель (СПбГУ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Милашев В.А. Родственные включения в кимберлитовой трубке “Обнаженная” (бассейн р. Оленек) // Записки ВМО. 1960. Ч. 89. Вып. 3. С. 284–298.
2. Уханов А.В., Рябчиков И.Д., Харькив А.Д. Литосферная мантия Якутской кимберлитовой провинции. М.: Наука, 1988. 285 с.
3. Ionov D.A., Carlson R.W., Doucet L.S., Golovin A.V., Oleinikov O.B. The age and history of the lithospheric mantle of the Siberian craton: Re–Os and PGE study of peridotite xenoliths from the Obnazhennaya kimberlite // Earth Planet. Sci. Lett. 2015. V. 428. P. 108–119. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2015.07.007>
4. Мальков Б.А., Густомесов В.А. Юрская фауна в кимберлитах Оленекского поднятия и возраст кимберлитового вулканизма на северо-востоке Сибирской платформы // Доклады АН СССР. 1976. Т. 229. № 2. С. 435–438.
5. Sun J., Liu C.Z., Tappe S., Kostrovitsky S.I., Wu F.Y., Yakovlev D., Yang Y.H., Yang J.H. 2014. Repeated kimberlite magmatism beneath Yakutia and its relationship to Siberian flood volcanism: insights from in situ U–Pb and Sr–Nd perovskite isotope analysis. Earth Planet. Sci. Lett. 2014. V. 404. P. 283–295. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.07.039>
6. Qi Q., Taylor L.A., Snyder G.A., Sobolev N.V. Eclogites from the Obnazhennaya Kimberlite Pipe, Yakutia, Russia // Int. Geol. Rev. 1994. V. 36. P. 911–924. <https://doi.org/10.1080/00206819409465495>
7. Taylor L.A., Snyder G.A., Keller R., Remley D.A., Anand M., Wiesli R., Valley J., Sobolev N.V. Petrogenesis of group A eclogites and websterites: evidence from the Obnazhennaya kimberlite, Yakutia // Contrib. to Mineral. Petrol. 2003. V. 145. P. 424–443. <https://doi.org/10.1007/s00410-003-0465-y>
8. Alifirova T.A., Pokhilenko L.N., Ovchinnikov Y.I., Donnelly C.L., Riches A.J.V., Taylor L.A. Petrologic origin of exsolution textures in mantle minerals: evidence in pyroxenitic xenoliths from Yakutia kimberlites // Int. Geol. Rev. 2012. V. 54. 1071–1092. <https://doi.org/10.1080/00206814.2011.623011>
9. Alifirova T.A., Pokhilenko L.P., Korsakov A.V. Apatite, SiO₂, rutile and orthopyroxene precipitates in minerals of eclogite xenoliths from Yakutian kimberlites, Russia // Lithos. 2015. V. 226. P. 31–49. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2015.01.020>
10. Калашиникова Т.В. Геохимические характеристики и петрогенезис мантийных ксенолитов из кимберлитовой трубки Обнаженная (Якутская кимберлитовая провинция): дис. ... канд. геол.-мин. наук. Иркутск, 2017. 258 с.
11. Spengler D., Alifirova T.A. Formation of Siberian cratonic mantle websterites from high-Mg magmas // Lithos. 2019. V. 326–327. P. 384–396. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.12.020>

12. *Ionov D.A., Doucet L.S., Xu Y., Golovin A.V., Oleinikov O.B.* Reworking of Archean mantle in the NE Siberian craton by carbonatite and silicate melt metasomatism: Evidence from a carbonate-bearing, dunite-to-websterite xenolith suite from the Obnazhennaya kimberlite // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2018. V. 224. P. 132–153.
<https://doi.org/10.1016/j.gca.2017.12.028>
13. *Ionov D.A., Qi Y.-H., Kang J.-T., Golovin A.V., Oleinikov O.B., Zheng W., Anbar A.D., Zhang Z.-F., Huang F.* Calcium isotopic signatures of carbonatite and silicate metasomatism, melt percolation and crustal recycling in the lithospheric mantle // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2019. V. 248. P. 1–13.
<https://doi.org/10.1016/j.gca.2018.12.023>
14. *Howarth G.H., Barry P.H., Pernet-Fisher J.F., Baziotis I.P., Pokhilenko N.P., Pokhilenko L.N., Bodnar R.J., Taylor L.A., Agashev A.M.* Superplume metasomatism: Evidence from Siberian mantle xenoliths // *Lithos*. 2014. V. 184–187. P. 209–224.
<https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.09.006>
15. *Pernet-Fisher J.F., Howarth G.H., Pearson D.G., Woodland S., Barry P.H., Pokhilenko N.P., Pokhilenko L.N., Agashev A.M., Taylor L.A.* Plume impingement on the Siberian SCLM: Evidence from Re-Os isotope systematics // *Lithos*. 2015. V. 218–219. P. 141–154.
<https://doi.org/10.1016/j.lithos.2015.01.010>
16. *Зайцева Т.С., Горохов И.М., Семихатов М.А., Ивановская Т.А., Кузнецов А.Б., Доржиева О.В.* Rb-Sr и K-Ar возраст глобулярных слоистых силикатов Оленекского поднятия (Северная Сибирь) // *Стратиграфия. Геол. корреляция*. 2017. Т. 25. № 6. С. 3–29.
<https://doi.org/10.7868/S0869592X17060011>
17. *Кузнецов А.Б., Зайцева Т.С., Сальникова Е.Б.* Центр коллективного пользования “АИРИЗ” (ИГД РАН, Санкт-Петербург): научное оборудование, основные направления исследований и результаты // *Геодинамика и тектонофизика*. 2022. Т. 13 (2), 0584.
<https://doi.org/10.5800/GT-2022-13-2-0584>
18. *Королев Н.М., Марин Ю.Б., Никитина Л.П., Зинченко В.Н., Шиссуна У.М.* Высококиобиевый рутил из верхнемантийных эклогитовых ксенолитов алмазодиферной кимберлитовой трубки Катока, Ангола // *ДАН*. 2014. Т. 454. № 2. С. 207–210.
<https://doi.org/10.7868/S0869565214020182>
19. *Taylor L.A., Neal C.R.* Eclogites with Oceanic Crustal and Mantle Signatures from the Bellsbank Kimberlite, South Africa, Part I: Mineralogy, Petrography, and Whole Rock Chemistry // *J. Geol.* 1989. V. 97. P. 551–567.
<https://doi.org/10.1086/629334>
20. *Misra K.C., Anand M., Taylor L.A., Sobolev N.V.* Multi-stage metasomatism of diamondiferous eclogite xenoliths from the Udachnaya kimberlite pipe, Yakutia, Siberia // *Contrib. to Mineral. Petrol.* 2004. V. 146. P. 696–714.
<https://doi.org/10.1007/s00410-003-0529-z>

METASOMATIC ORIGIN OF LAMELLAR-LIKE INCLUSIONS IN CLINOPYROXENES FROM MANTLE XENOLITHS OF THE OBNAZHENNAYA PIPE (KUOIKA FIELD, YAKUTIAN DIAMONDIFEROUS PROVINCE)

**N. M. Korolev^{a, #}, L. P. Nikitina^a, Corresponding Member of the RAS A. B. Kuznetsov^{a, b}, A. G. Goncharov^b,
O. L. Galankina^a, V. V. Shilovskikh^b, and N. S. Vlasenko^b**

^a*Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Sciences, St.-Petersburg, Russian Federation*

^b*Saint Petersburg State University, St.-Petersburg, Russian Federation*

[#]*E-mail: korolev.nm@gmail.com*

The article reports new data on previously undescribed lamellar-like (linearly oriented) structures in clinopyroxenes from mantle xenoliths of garnet pyroxenites (Obnazhennaya pipe, Northern Siberia). The origin and mineral diversity of lamellar structures in xenoliths from the Obnazhennaya pipe are supposed to be related to a breakdown of solid solutions during a decrease of P – T parameters. Our study shows that metasomatic recrystallization of initial clinopyroxene with linear exsolution structures leads to the formation of new secondary mineral assemblages. The secondary clinopyroxene reproduces (inherits) framework with linearly oriented inclusions, which are morphologically similar to the primary exsolution structures. Thus, the pyroxenite xenoliths from the Obnazhennaya pipe contain two generations of mineral associations with lamellar structures: primary and secondary. The primary association is composed of diopside, containing lamellae of enstatite, pyrope, spinel and rutile. The secondary (metasomatic) clinopyroxene contains half as much Al_2O_3 (3.4 wt %) and Na_2O (1.7 wt %) and is enriched in MgO and CaO compared to the primary clinopyroxene. Nevertheless, the chemical composition of the secondary pyroxene still corresponds to diopside end-member. The metasomatic association comprises aligned pargasite (Al-rich amphibole) instead of orthopyroxene (enstatite) lamellae, and the secondary rutile is enriched in chromium (up to 3.1 wt % Cr_2O_3) in contrast to rutile from the primary mineral assemblage.

Keywords: Siberian Craton, pyroxenite, lithosphere, mantle, metasomatism