

Оливины метаморфизованного многофазного габброидного массива Кааламо в Северном Приладожье (Ю. Карелия)

Анисимов Р.Л.¹, Петракова М.Е.¹, Балтыбаев Ш.К.^{1,2}

¹ Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург, romjulleoanis@mail.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет – Институт наук о Земле, Санкт-Петербург

Аннотация. В метаморфизованных пироксенитах первой фазы внедрения массива Кааламо Северного Приладожья изучены оливины, имеющие широкий диапазон составов с XMg от 0.56 до 0.84. Учитывая наложенный на породы массива региональный метаморфизм не ниже уровня эпидот-амфиболитовой фации, произведена проверка оливинов на магматическое или метаморфическое происхождение. Петрографическим критерием магматического происхождения некоторых оливинов является находка их внутри зерен магматического ортопироксена. Дополнительным аргументом в пользу магматического происхождения части оливинов стали результаты моделирования кристаллизации оливина в программе COMAGMAT. Установлено, что расплавы, из которых предположительно могли образоваться габброиды массива Кааламо, могут продуцировать оливины с составами XMg > 0.7. Более железистые оливины, скорее всего, образовались при метаморфической перекристаллизации первых. Влияние метаморфизма на породы массива Кааламо оказалось неоднородным и поэтому составы реликтовых магматических минералов изменены в разной степени, несмотря на широкое развитие вторичной амфиболитизации, биотитизации, раскисления плагиоклаза при преобразованиях габброидов.

Ключевые слова: оливин, габброиды, Северное Приладожье, происхождение.

Olivines of the metamorphized multi-phase gabbroid Kaalamo massive in the Northern Ladoga area (S. Karelia)

Anisimov R.L.¹, Petrakova M.E.¹, Baltybaev S.K.^{1,2}

¹ Institute of precambrian geology and geochronology of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, romjulleoanis@mail.ru

² Saint-Petersburg State University – Institute of the Earth Sciences, St. Petersburg

Abstract: Olivine in the pyroxenites of the first intrusion phase has been studied in metamorphized gabbroids of the Kaalamo massive in the Northern Ladoga area. Olivine has a wide range of compositions with a change in XMg from 0.56 to 0.84. Given the imposed regional metamorphism not lower than the level of epidote-amphibolite facies, the magmatic or metamorphic origin of olivine was tested. The petrographic criterion of the magmatic origin of some grains of olivine comes from the finding of them inside the grains of magmatic orthopyroxene. An additional argument in favor of the magmatic origin of part of olivines is the results of the modeling of crystallization using the COMAGMAT tool. It was established that the melts during their crystallization can produce olivine with the XMg > 0.7. More ferric olivine, most likely, was formed during the metamorphic recrystallization of the former. The influence of metamorphism on the rocks of the Kaalamo massive turned out to be heterogeneous and the compositions of relict magmatic minerals were changed to varying degrees, despite the widespread development of secondary amphibolization, biotitization, and the albitization of plagioclase during postmagmatic events.

Keywords: olivine, gabbroids, Northern Ladoga area, origin.

Введение

На территории Северного Приладожья распространены многочисленные массивы габброидов, связанные с орогенической стадией развития геологических комплексов этого региона в раннем протерозое (Ладожская..., 2020). Объектом нашего изучения являются породы многофазного массива Кааламо, который вместе с менее крупными телами-сателлитами входит в состав кааламского клинопироксенит-габбронорит-диоритового комплекса (Ладожская..., 2020). Породы этого

комплекса подверглись преобразованиям под воздействием регионального раннепротерозойского метаморфизма, что отразилось в изменении составов минералов. В данной работе рассматриваются минералы оливина, которые известны в породах первой фазы внедрения, и предпринимается попытка разделить их по условиям образования на магматические и метаморфические. Актуальность изучения оливина в габброидах рассматриваемого региона определяется тем, что до сих пор отсутствуют в литературе сведения о происхождении оливина в метаморфизованных габброидах, также нет информации о составах этого минерала.

Краткая геологическая характеристика массива Кааламо

Массив Кааламо в составе одноименного комплекса расположен на территории Северного Приладожья и прорывает раннепротерозойские метаморфические породы: гранат-биотитовые гнейсы и сланцы ладожской серии, а также амфиболиты сортавальской серии. Массив площадью около 70–80 км² обнажается фрагментарно вместе с более мелкими телами-сателлитами (Ладожская..., 2020). В массиве Кааламо большинство исследователей (Саранчина, 1949; Богачев и др., 1999; Лавров и Кулешевич, 2016; Ладожская..., 2020; Анисимов и др., 2022) выделяют несколько фаз внедрения. К ранней (первой) фазе внедрения относятся верлиты, оливиновые клинопироксениты, плагиопироксениты, меланогаббро, ко второй – габбронориты, габбродиориты и завершающей, третьей фазе – диориты, кварцевые диориты, тоналиты, плагиограниты.

Время кристаллизации пород второй фазы определено U-Pb локальным датированием циркона как 1.89 млрд лет (Богачев и др., 1999).

Оливиновые разности пород в массиве Кааламо обнаружены только в первой фазе внедрения и некоторых окружающих сателлитах.

Оливины в габброидах массива Кааламо и его сателлитов

Оливин в породах массива Кааламо наблюдается в наименее кремнекислотных разновидностях первой фазы внедрения (рис. 1). Минерал представлен округлыми или ксеноморфными агрегатами, по данным рентгеноспектрального микроанализа содержание фаялитовой молекулы варьирует от 16 до 44 % (рис. 2). Некоторая дискретность в распределении составов оливинов связана с различным составом пород, в которых они наблюдаются. Так, в одном образце оливинового клинопироксенита (K079-58) содержание MgO в породе составляет 19.57 вес. %, состав оливина Fa_{27-35} , а в другом образце (K079-307) содержание MgO составляет 33.18 вес. % и соответственно наблюдается уменьшение железистости оливина до Fa_{16-18} (рис. 2, табл. 1).

В оливинах устанавливается постоянная примесь Mn (0.002–0.02 а. ф. е.), в единичных зернах обнаруживается примесь Al (0.003–0.006 а. ф. е.) и Ca (0.12–0.13 а. ф. е.). В некоторых зернах

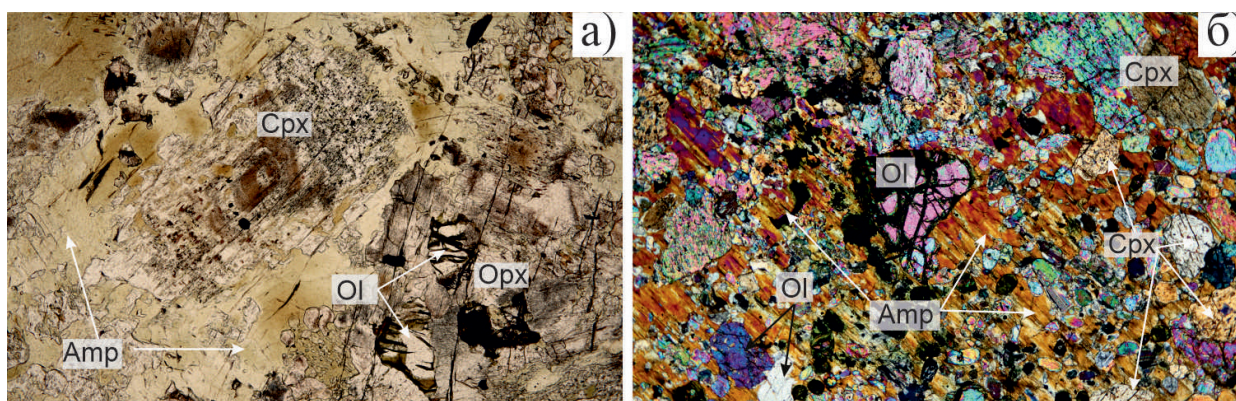


Рис. 1. Микрофотографии оливинового клинопироксенита: а) без анализатора; б) николи скрещены. Сокращения названий минералов: Amp – амфибол, Cpx – клинопироксен, Ol – оливин, Opx – ортопироксен.

Fig. 1. Micrographs of olivine clinopyroxenite: a) plane polarized light; b) crossed polarized light. Abbreviations of the names of minerals: Amp – amphibole, Cpx – clinopyroxene, Ol – olivine, Opx – orthopyroxene.

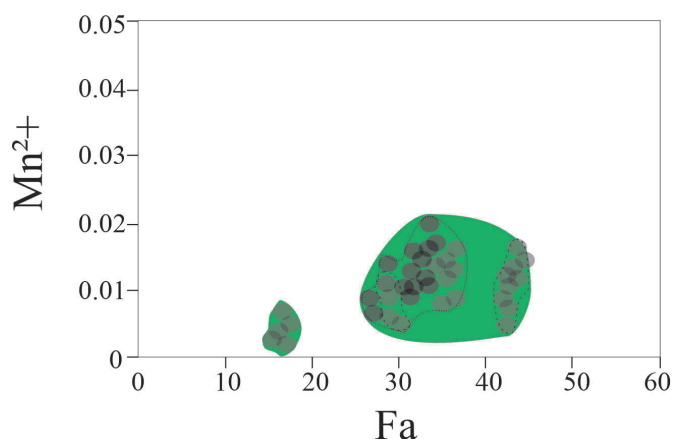


Рис. 2. Составы оливинов из оливиновых клинопироксенитов, Fa – фаялитовая молекула.

Fig. 2. Compositions of olivines from olivine clinopyroxenites, Fa – fayalite molecule.

триксе породы, где замещается серпентином, иддингситом, боулингитом, а также актинолитом. В единичных случаях зерна оливина заключены в ортопироксене (рис. 1 а).

Моделирование кристаллизации оливина из магматического расплава

Численное моделирование кристаллизации минералов из расплава осуществлялось с помощью компьютерной программы COMAGMAT v.3.75 (Ariskin, Barmina, 2004, с обновлением 2021 г.). Ранее нами проведенное моделирование кристаллизации плагиоклаза из расплава (Анисимов и др., 2022) показало перспективность такого подхода для решения задач минералообразования в габброидах Северного Приладожья.

Для моделирования процесса кристаллизации оливина в качестве гипотетического родоначального расплава были использованы составы оливинсодержащих пород первой фазы внедрения массива Кааламо, а также усредненные составы для всех пород этой фазы по оригинальным данным и опубликованным результатам других исследователей (табл. 1).

Таблица 1. Химические составы пород первой фазы массива Кааламо, рассматриваемые как составы исходного расплава

Table 1. Chemical compositions of the first phase's rocks of the Kaalamo massive taken as the initial melts

Sample/Oxides	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	LOI
K079-307	47.22	0.14	4.02	9.40	0.15	33.18	4.87	0.55	0.16	0.01	0.3	0.00
K079-58	51.03	0.32	4.7	8.94	0.16	19.57	14.17	0.63	0.24	0.05	0.19	0.00
Aver1	49.15	0.59	9.66	9.62	0.19	13.42	13.18	1.03	0.61	0.08	0.10	1.17
Aver2	49.14	0.62	7.58	10.3	0.18	16.05	12.36	0.97	0.48	0.07	0.00	1.92
Aver3	49.01	0.64	8.29	10.22	0.18	15.31	12.50	1.00	0.51	0.07	0.00	1.77

Примечание. Aver1-3 – усредненные составы пород: (1) – авторские, (2) – опубликованные и (3) – объединенные (1+2) составы, соответственно.

Note. Aver1-3: average rock compositions: (1) – authors, (2) – published and (3) – united (1+2) data, respectively.

Для предполагаемого родоначального состава были установлены параметры кристаллизации: давление становления массива 4–5 кбар (Геология..., 2000), содержания воды в расплаве 1–6 вес. % при кислородном буфере IQF.

В результате моделирования процесса фракционной кристаллизации в заданных условиях, в более магнезиальных составах (K079-58, K-079-307) температуры ликвидуса рассчитываются более высокими, происходит ранняя кристаллизация высокомагнезиального оливина, клинопироксена и основного плагиоклаза, что согласуется с петрографическими наблюдениями (рис. 3). При мо-

обнаруживается незначительная примесь Ni (до 0.01 а. ф. е.). Наибольшая концентрация Ni в оливинах наблюдается в наименее кремнекислотной породе (образец K079-307).

Но широкую вариацию оливинов по содержанию X_{Mg} не всегда удастся связать с вариациями составов содержащих их пород.

Петрографическими наблюдениями установлено, что зерна высокомагнезиального оливина иногда встречаются внутри зерен ортопироксена (Орх). Образование последнего может быть только из расплава, т. к. относительно низкотемпературные условия метаморфизма габброидов исключают метаморфическое происхождение Орх.

Оливин чаще всего встречается в ма-

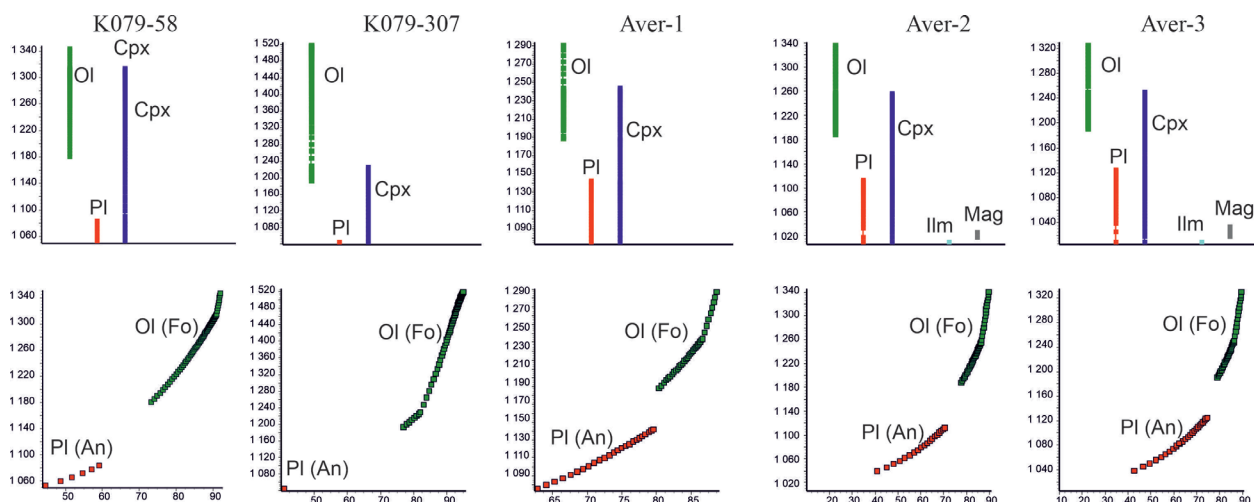


Рис. 3. Результаты моделирования кристаллизации оливиновых клинопироксенитов.

Fig. 3. The results of modelling of crystallizations of olivine clinopyroxenites.

делировании фракционной кристаллизации усредненных составов оливиновых клинопироксенитов наблюдается более ранняя кристаллизация плагиоклаза и X_{Mg} оливина ниже, что может быть связано с более повышенным содержанием Al_2O_3 и FeO в расплаве.

Также были протестированы модели с увеличением давления, содержания воды и фугитивности кислорода. При повышении давления (до 8–10 кбар, $H_2O = 1\%$, кислородный буфер IQF). При таких условиях кристаллизации наблюдается увеличение температуры ликвидуса, повышение X_{Mg} оливина, более ранняя кристаллизация клинопироксена и поздняя плагиоклаза (или его отсутствие).

С увеличением содержания H_2O в расплаве до 4 % (4–5 кбар, кислородный буфер IQF), температуры ликвидуса снижаются, повышается X_{Mg} оливина и основность плагиоклаза.

При повышении фугитивности кислорода до буфера NNO наблюдается более ранняя кристаллизация магнетита (Mag), ильменита (Ilm) оливин становится более магнезиальным, с содержанием форстеритовой (Fo) молекулы до 90–85, наблюдается раскисление плагиоклаза до 40–50 номера (по содержанию анортита – An).

Ни при каких указанных вариациях параметров кристаллизации расплава не удастся получить оливин с X_{Mg} ниже 0.70–0.74.

Выводы

Оливины в породах первой фазы внедрения массива Кааламо и его сателлитов делятся на две группы: магматическую (1) и метаморфическую (2). К первой группе относятся оливины с $X_{Mg} \geq 0.7$, а ко второй – более железистые.

Результаты численного моделирования кристаллизации оливина из магматического расплава указывают на невозможность образования оливина с X_{Mg} ниже 0.7 из расплавов, в качестве которых берутся составы пород ранней фазы внедрения.

Петрографическим критерием магматической природы части оливинов является нахождение их в виде включений в ортопироксене магматического происхождения.

Оливин с $X_{Mg} < 0.7$ вероятнее всего появляется в результате перекристаллизации некоторых зерен ранее образованного оливина магматического генезиса.

Благодарности

Авторы благодарят сотрудников ООО «Полиметалл» А.В. Булавина, ОАО «Индустрия» А.С. Вихко, Т.Ю. Шпакова за предоставленную возможность ознакомиться с данными разведочно-го бурения на участке Кааламо.

Работа выполнена в рамках темы Госзадания НИР № FMUW-2022-0002.

Литература

1. Анисимов Р.Л., Кириллова П.А., Балтыбаев Ш.К., Галанкина О.Л. Зональность плагиоклазов клинопироксенит-габбронорит-диоритового массива Кааламо (Северное Приладожье, Россия) // Труды Карельского научного центра РАН, 2022. № 2. С. 50–69. DOI: 10.17076/geo1520.
2. Богачев В.А., Иваников В.В., Козырева И.В., Конопелько Д.Л., Левченков О.А., Шульдинер В.И. U-Pb цирконовое датирование синорогенных габбро-диоритовых и гранитоидных интрузий Северного Приладожья // Вестник СПбГУ, 1999. № 3. С. 23–31.
3. Лавров О.Б., Кулешевич Л.В. Перспективы поисков платиноидов в массивах Кааламского дифференцированного комплекса (Северное Приладожье, Карелия) // Отечественная геология. 2016. № 3. С. 46–56.
4. Ладожская протерозойская структура (геология, глубинное строение и минерагения). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2020. 438 с.
5. Саранчина Г.М. Петрология Велимякской интрузии и связанное с нею рудопроявление // Изв. Карело-Финск. научн.-иссл. базы АН СССР, 1949. № 2. С. 57–80.
6. Ariskin A.A., Barmina G.S. COMAGMAT: Development of a magma crystallization model and its petrological applications // Geochemistry International, 2004. V. 42. P. 1–157.