

**Мегакристаллы амфибола из пирокластического материала южного склона Кроноцкого вулкана (Камчатка)**

**Овсянников Г.Н.<sup>1,2</sup>, Горбач Н.В.<sup>1</sup>, Rogozin A.N.<sup>1</sup>, Ermolinskiy A.B.<sup>2</sup>**

**Amphibole megacrystals from pyroclastic material of the Kronotsky volcano southern slope (Kamchatka)**

**Ovsyannikov G.N., Gorbach N.V., Rogozin A.N., Ermolinskiy A.B.**

<sup>1</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;*

*e-mail: george\_ovs@mail.ru*

<sup>2</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва*

Описаны морфология и состав мегакристаллов амфибола (1-8 см), обнаруженных в пирокластическом материале эруптивных центров Кроноцкого вулкана. На основе результатов изучения состава, морфологии и взаимоотношений мегакристаллов, вмещающей пирокластики и ксенолитов оливиновых клинопироксенитов предполагается реакционное происхождение амфибола.

**Введение**

Вулкан Кроноцкий (3528 м) – крупный действующий стратовулкан Восточного вулканического пояса Камчатки, сложенный низкокальциевыми толеитовыми базальтами [1]. Ранее в южном секторе стратовулкана были описаны ксенолиты основных и ультраосновных пород, а также монокристаллы амфибола, обнаруженные в туфах М.Л. Фроловой и Ф.Ш. Кутыевым в 1970 г. в ходе работ Кроноцкой геолого-съёмочной партии. Кроме краткого описания в геологическом отчете, мегакристаллы и ассоциирующие с ними ксенолиты упоминаются в книге [2], однако подробной характеристики мегакристаллов, ксенолитов и условий их проявления в перечисленных источниках не приведено. В ходе полевых работ 2024 г. нам удалось повторить находку геологов, а также обнаружить эруптивный центр Гнездо, пирокластический материал которого содержит большое количество мегакристаллов амфибола и ксенолитов. Также, единичные мегакристаллы были найдены нами в пирокластическом материале эруптивного центра Уютный в юго-западном секторе Кроноцкого вулкана. В настоящем сообщении мы приводим краткое описание морфологии и состава мегакристаллов – редкой находки для островодужных базальтов, а также представляем результаты исследования трехмерного строения монокристалла амфибола.

**Методы исследования**

Изучение петрографических шлифов и полированных заливок монокристаллов производилось на оптическом микроскопе Nikon ECLIPSE LV100N POL в лаборатории Петрологии и геохимии Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

Химический состав монокристаллов амфибола, минералов ксенолитов и вмещающих пород определен при помощи электронно-зондового микроанализа в лабораториях Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (Tescan Vega 3, оснащенный ЭДС Oxford Instruments Xmax<sup>80</sup>, аналитик Т.М. Философова) и Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (Jeol JSM IT-500, оснащенный ЭДС Oxford Instruments Xmax<sup>N</sup>, аналитик Н.Н. Коротаева), выполнены фотографии в отраженных электронах. Исследования трехмерного строения монокристаллов проводились методом рентгеновской компьютерной микротомографии (μКТ) на приборе Yamato TDM-1000H-II с разрешением съемки 18 мкм. Интерпретация полученных объемных изображений проводилась в программном комплексе VGStudio MAX 2.2. Исследование проводилось на оборудовании, приобретенном по Программе развития МГУ имени М.В. Ломоносова.

### Мегакристаллы и ксенолиты

Мегакристаллы амфибола (1-8 см, в среднем 2-5 см) присутствуют как в составе крупных (>10 см) вулканических бомб, так и в виде кристаллолапилли ( $\geq 6.4$  см) в оторочке вмещающей лавы низко-К толеитовых базальтов. Хорошо ограненные индивиды представлены пинакоидально-ромбопризматическим габитусом, имеют изометричный или слегка удлинённый облик (удлинение от 1.1 до 1.9, в среднем, 1.5, рис. 1). Облик кристалла сформирован комбинацией двух ромбических призм (110) и (011) и двух пинакоидов (010) и (10-1). Иногда в кристаллах проявлены грани призмы (120). Сечение, перпендикулярное оси С, псевдогексагональное.

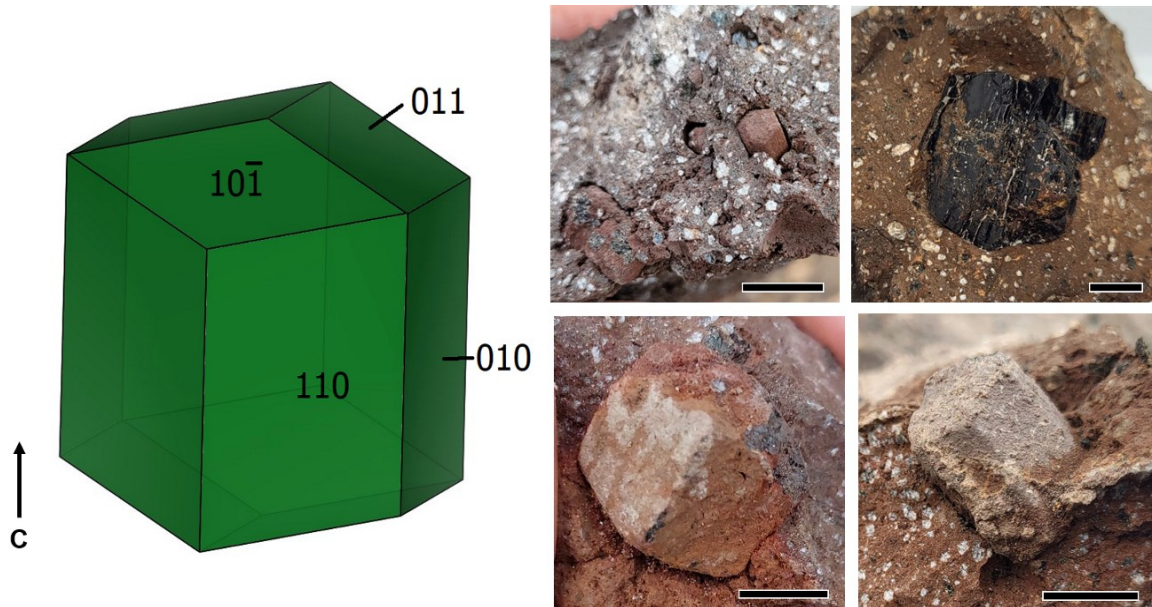


Рис. 1. Модель мегакристалла амфибола из лав Кроноцкого вулкана и фото реальных кристаллов в породе. Длина масштабных линеек 1 см.

Проявлены процессы автоэпитаксии, регенерации и растворения кристаллов (рис. 2а). Изученные фрагменты мегакристаллов амфиболов содержат округлые пироксены (Mg#74), плагиоклазы (An92) и оливины (Mg#73-75) от единичных вростков до 40 об. % (рис. 2а, в). Также обнаружены ксенолиты оливиновых клинопироксенитов с амфиболовыми каймами (рис. 2б).

Определены составы различных участков монокристаллов из двух центров, вростков и кайм в пироксенитах, а также мегакристаллов амфиболов с обильными включениями пироксенов и плагиоклазов. Согласно классификации [3], данные составы относятся к ряду магнезиогастингсит – чермакитовый паргасит с высокими содержаниями  $Al_2O_3$  (14.8-16 мас. %) и AIV (более 2 apfu) при средней магнезиальности  $Mg\# = Mg/Mg+Fe^{2+} = 0.67$ . Состав амфиболов очень устойчив в монокристаллах, оторочках и вростках обоих изученных центров. Для кристалла на рис. 2в оценены РТ-параметры кристаллизации по двупироксеновому [4] и амфиболовому [5] термобарометрам. По равновесной паре клинопироксен-ортопироксен (Mg#73-74, фактор равновесия 1.07) получены параметры давления 5.5 Кбар и температуры 985 °С. Параметры кристаллизации вмещающего амфибола оценены в 5.5-6.3 Кбар и 950 °С.

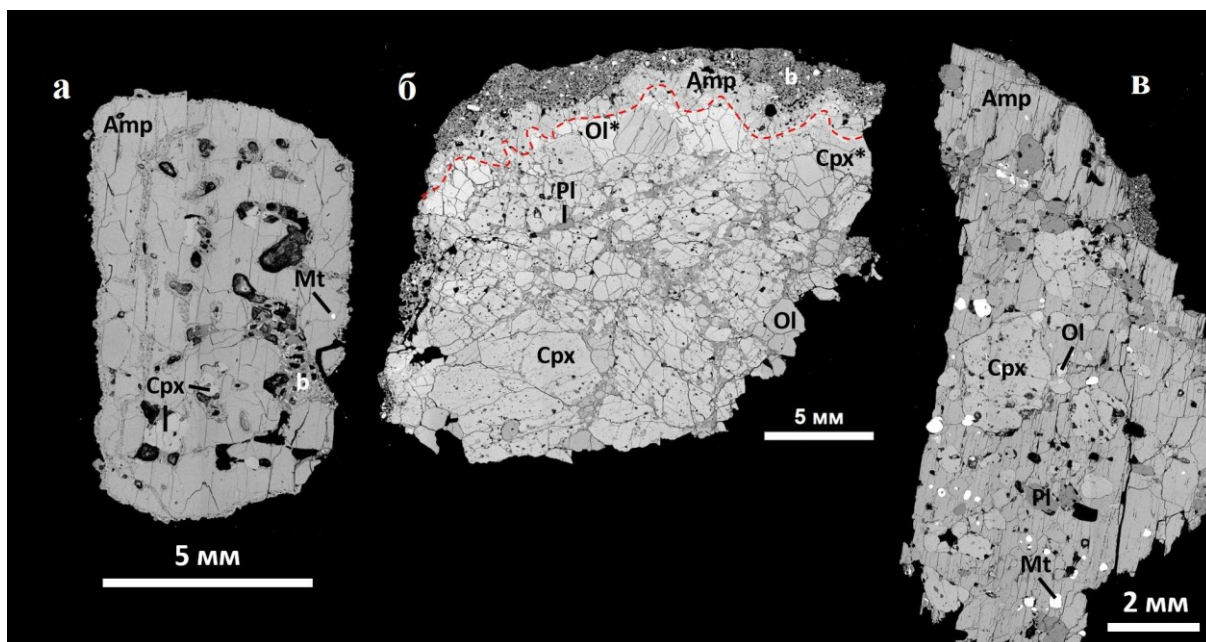


Рис. 2. Монокристаллы и ксенолиты центра Гнездо. а) Монокристалл с редкими включениями клинопироксенов (Срх), порами и заливами базальтового (b) расплава. б) Оливиновый клинопироксенит. Амфибол (Амп) присутствует в виде тонких вrostков в клинопироксене (Срх, Mg#82-85) и формирует кайму вокруг ксенолита (отмечена красной пунктирной линией). Присутствует оливин (Ol, Mg#80-83). Плагиоклаз (Pl, An92) формирует вытянутые зоны. На краю ксенолита присутствуют оливин (Ol\*) и клинопироксен (Срх\*) пониженной магнезиальности Mg#78. в) Фрагмент мегакристалла амфибола (Амп) с обильными включениями клинопироксена (Срх), оливина (Ol) и плагиоклаза (Pl). Присутствуют округлые включения магнетита (Mt). Сечение, параллельное оси С. Панорамы в отраженных электронах.

### Томография монокристаллов

При анализе изображений томографии (рис. 3) было выделено несколько фаз в объеме кристалла, которые интерпретированы как поры (4.7 об. %), вулканическое стекло и плагиоклаз (1.4 об. %), оливин и пироксены (0.9 об. %), магнетит (2.9 об. %). По пространственному положению стекло, рудные минералы, оливины и пироксены приурочены к порам. Поры сообщаются друг с другом и с поверхностью кристалла. Стекло локализовано на периферийной части крупных пор, иногда замыкает их целиком, реже формирует «перегородки» между порами. Оливины и пироксены, напротив, приурочены к мелким щелевидным порам, распространенным на контакте с вмещающим объемом амфибола. Рудные минералы приурочены, в основном, к периферийной части пор, наблюдается склонность к локализации вблизи кристаллов оливина и пироксена, часто с контактом через пространство пор.

Наличие мелких щелевидных пор вблизи округлых пироксенов и оливинов ставит под сомнение совместную кристаллизацию амфибола и включений в нем. В ксенолитах оливиновых клинопироксенитов практически отсутствуют рудные минералы, в то время как в мегакристаллах содержание округлых включений магнетита (до 1.5 мм в изученном образце) достигает 3 об. %. Можно предположить, что амфибол и магнетит образовались в результате реакции расплава с минералами оливиновых клинопироксенитов. Сообщающиеся поры с вулканическим стеклом образовались, вероятно, на стадии быстрой эксгумации мегакристалла базальтовым расплавом.

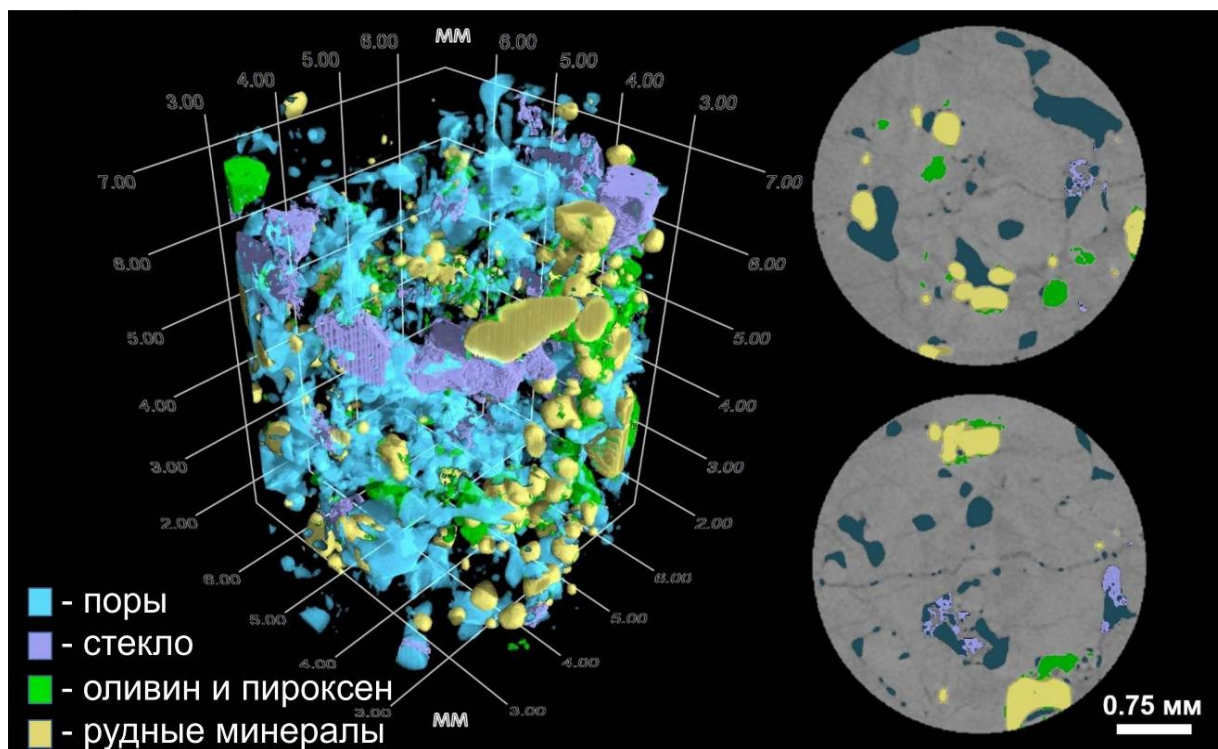


Рис. 3. 3D-томограмма и избранные 2D-сечения перпендикулярно оси С монокристалла амфибола центра Гнездо.

### Заключение

Ассоциация мегакристаллов и ксенолитов Кроноцкого вулкана, идентичность состава амфиболов в ксенолитах и в отдельных монокристаллах, отсутствие зональности, морфологические признаки позволяют предполагать ксеногенную природу амфиболов по отношению к вмещающим пирокластическим продуктам. Вероятно, мегакристаллы амфибола с включениями магнетита образовались в результате реакции расплава и минералов оливиновых клинопироксенитов на нижних уровнях питающей системы Кроноцкого вулкана.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 23-27-00053 (<https://rscf.ru/project/23-27-00053/>).

### Список литературы

1. Горбач Н.В., Rogozin A.H. Особенности геологического строения и состава пород вулкана Кроноцкого – крупнейшего стратовулкана фронтальной зоны Восточного вулканического пояса Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2023. № 5. С. 26-45.
2. Кутыев Ф.Ш., Шаранов В.Н. Петрогенезис под вулканами (в свете изучения базит-гипербазитовых включений в базальтах). М.: Недра, 1979. 197 с.
3. Hawthorne F.C., Oberti R., Harlow G.E. et al. Nomenclature of the amphibole supergroup // American Mineralogist. 2012. V. 97. № 11-12. P. 2031-2048.
4. Putirka K.D. Thermometers and barometers for volcanic systems // Reviews in mineralogy and geochemistry. 2008. V. 69(1). P. 61-120.
5. Ridolfi F. Amp-TB2: an updated model for calcic amphibole thermobarometry // Minerals. 2021. V. 11(3). Art. 324.