

Минеральный состав и предварительная оценка условий кристаллизации дацитов, изверженных вулканом Крашенинникова в августе-сентябре 2025 г.
Овсянников Г.Н.^{1,2}, Горбач Н.В.¹, Rogozin A.N.¹, Крашенинников С.П.², Толстых М.Л.²
Mineral composition and preliminary estimates of crystallization conditions of dacites from the August–September 2025 eruption of Krasheninnikov Volcano
Ovsyannikov G.N., Gorbach N.V., Rogozin A.N., Krasheninnikov S.P., Tolstykh M.L.

¹ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;
e-mail: george_ovs@mail.ru

² Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва

Представлены данные о минеральном составе пород нового извержения вулкана Крашенинникова. Субафировые дациты содержат 5-12 % вкрапленников: сростания двух пироксенов (Orx Mg#55, Sprx Mg#60), плагиоклаз (An 50-60), акцессорные апатит, магнетит и ильменит. Параметры кристаллизации оценены в 0.6-1.2 кбар и 930-1015 °С при logfO₂ в районе буфера QFM.

Введение

На основе изучения минерального состава представительной коллекции образцов лав и вулканических бомб, собранной в августе и сентябре 2025 г., мы приводим данные об условиях кристаллизации дацитов первого исторического извержения вулкана Крашенинникова. Были изучены образцы лав из потоков Дымящий, Нашатырный и Дальний [5], фрагменты стекловатой бомбы и мелкозернистый пепел со склонов Северного конуса. Образцы лав и вулканических бомб представлены умеренно-К дацитами высоко-Fe толеитовой серии (SiO₂=64.9-65.7 мас. %; K₂O=1.9-2.0 мас. %, FeO*/MgO>6) [5].

Методы исследования

Составы стекол основных масс и минералов определены при помощи электронно-зондового микроанализа в лаборатории локальных методов исследования вещества Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (аналитик Н.Н. Коротаева), выполнены фотографии в отраженных электронах. Концентрации воды в матричных стеклах и расплавных включениях в фенокристаллах оценены при помощи анализа спектров комбинационного рассеяния на приборе Renishaw InVia в ГЕОХИ РАН (аналитик А.П. Кривенко).

Петрографические особенности

Породы представлены субафировыми двупироксен-плагиоклазовыми дацитами. Содержание вкрапленников в породах 5-12 об. %, в бомбе со склона Северного конуса примерно по 2 % орто- и клино пироксена, 3 % плагиоклаза, около 1 % рудных минералов и акцессорный апатит. Моноклинный и ромбический пироксены, как правило, встречаются в виде гломеропорфировых сростков с плагиоклазом, размер сростков 1-3, реже 5 мм. Обычно сростки окружены участками стекла с очень малым количеством микролитов. Плагиоклаз более идиоморфный по отношению к пироксенам, встречается также в виде отдельных фенокристаллов и микролитов основной массы. Рудные минералы представлены титаномагнетитом и ильменитом (выделяются в виде микролитов, субфенокристов, входят в состав гломеропорфировых сростков). В качестве включений в плагиоклазе и в основной массе пород установлены магматические сульфиды. Акцессорно встречается апатит в виде микролитов, единичных субфенокристов и включений в пироксенах. В фенокристаллах отмечаются стекловатые расплавные включения, содержащие газовый пузырек.

Особенности химического состава минералов. Все изученные продукты извержения августа-сентября 2025 г. характеризуются крайне устойчивым химическим составом минералов, как фенокристаллов, так и микролитов. Существенных различий в минеральном составе отдельных потоков нами не обнаружено.

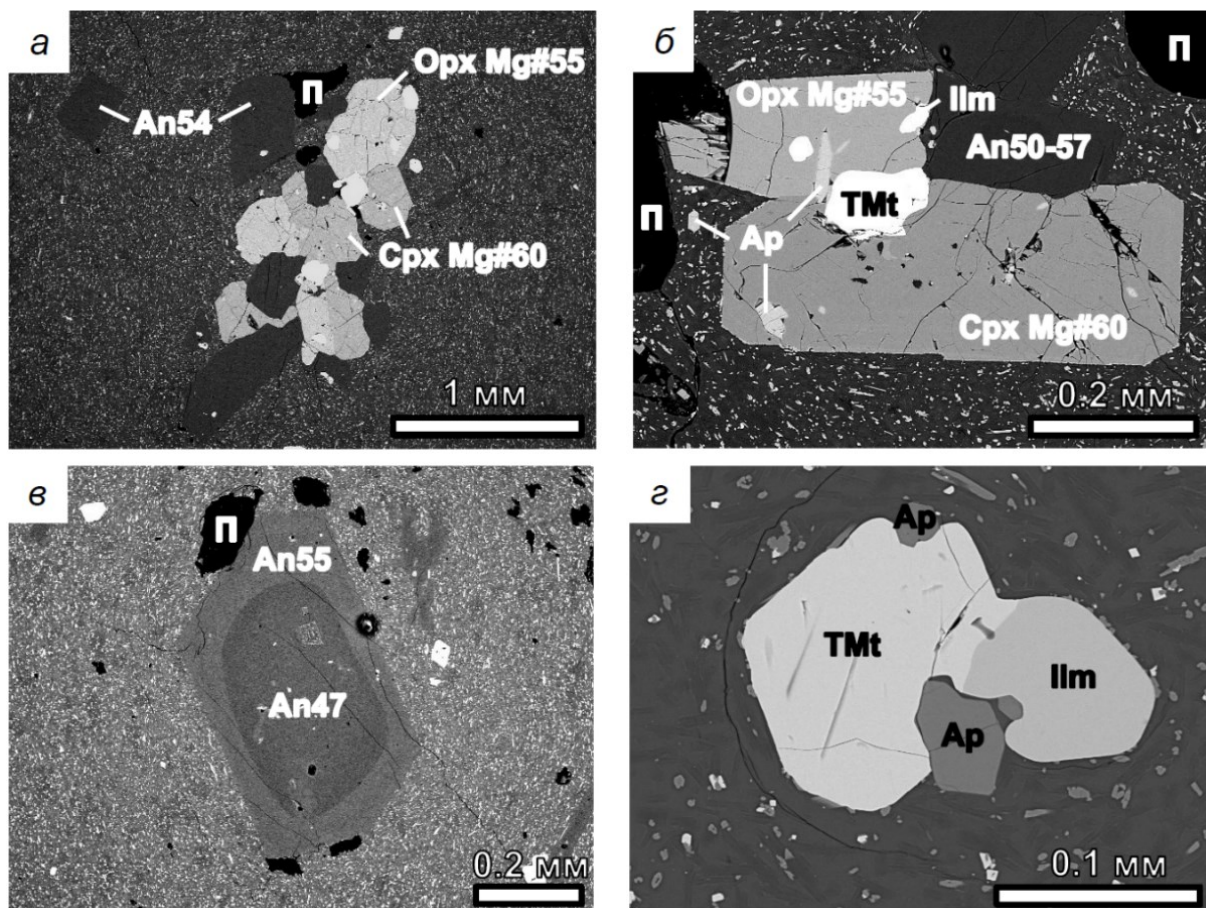


Рисунок. Минералы субафировых дацитов извержения вулкана Крашенинникова в 2025 г. а – типичный гломоропорфировый сросток, состоящий из двух пироксенов (Срх, Опх) с включениями титаномагнетита (TMt) и плагиоклаза (An); б – детальное изображение срастания двух пироксенов с включениями апатита, титаномагнетита и ильменита (Ilm); в – обратнoзональный фенокристалл плагиоклаза (Pl); г – срастание субфенокристаллов титаномагнетита и ильменита с включениями апатита. а, в – поток Нашатырный, б – поток Дымящий, г – стекловатая бомба со склона Северного конуса. П – поры, указано содержание анортитовой компоненты в плагиоклазе и магнезиальность ($Mg\# = 100 * Mg / (Mg + Fe + Mn)$) пироксенов.

Клинопироксен (авгит, $En_{38}Fs_{24}Wo_{38}$, Mg# 60-61) встречается в составе гломоропорфировых сростков с *ортопироксеном* (гиперстен, $En_{54}Fs_{42}Wo_4$, Mg# 54-56) (рисунок, а, б). Примечательно, что пироксен микролитов представлен исключительно пижонитом-ферропижонитом ($En_{42-48}Fs_{41-46}Wo_{11-16}$, Mg#50-55).

Плагиоклаз встречается в виде фенокристаллов состава An 47-60 мол. %, с содержанием FeO 0.6-0.8 мас. % и K₂O 0.2-0.3 мас. %. Для крупных кристаллов установлена обратная зональность, состав внутренней и внешних зон отличается на 7-8 мол. % An (рисунок, б, в).

Микролиты соответствуют An 45-47, редко An 50. Среди рудных минералов преобладает *титаномагнетит* (20 мас. % TiO₂, 71-73 мас. % FeO, 1.8-2 мас. % MgO), он выделяется в гломоропорфировых сростках, отдельных субфенокристаллах и в срастании с *ильменитом* (49 мас. % TiO₂, 47 мас. % FeO, 2.5-3 мас. % MgO) (рисунок, г). Ильменит довольно редко встречается и в составе гломоропорфировых сростков (рисунок, б).

Редкие *сульфидные капли* состоят из пирротина Fe_{7.1}S_{7.9}. Пирротин, включенный во вкрапленниках, содержит до 0.9 масс. % Cu и до 0.2 масс. % Co, включенный в основную массу – по 0.2 масс. % Co и Cu.

Матричные стекла пеплов и лав представлены дацитами до риолитов умеренно-калиевой спецификации (SiO_2 66-73 мас. %, K_2O 2.2-2.4 мас. %). Содержания летучих элементов (Cl < 0.15, S < 0.05, H_2O < 0.1 вес. %) в составах стекол крайне низки, однако, присутствие таких акцессорных минералов как апатит и сульфиды, захваченных фенокристами, свидетельствует о более высоких их концентрациях в родоначальных расплавах и значительных потерях в процессе дегазации при подъеме и декомпрессии магм.

Условия кристаллизации дацитов

Большинство широко используемых термобарометрических моделей, основанных на составе пироксенов, калиброваны для более магнезиальных и менее кремнекислых систем (например, [7]). Для оценки РТ условий кристаллизации мы выбрали мономинеральный клинопироксеновый геобарометр [8], откалиброванный в том числе и для более дифференцированных магматических систем – андезитов и дацитов. При содержании воды в расплаве 3 масс. % температура кристаллизации вкрапленников клинопироксена оценена в 1003-1015 \pm 36 °С при давлении 0.6-1.2 \pm 1.7 кбар [8]. Параметры совместной кристаллизации титаномагнетит-ильменитовых пар оценены в 930-960 \pm 50 °С и $\log f\text{O}_2$ (-0.2-0.4) \pm 0.5 QFM по [3] и в 950-980 \pm 50 °С и $\log f\text{O}_2$ (+0.1+0.3) \pm 0.4 QFM по [6] при давлении 1 кбар. Для расчета были использованы пары оксидов гломеропорфировых сростков и обособленные сростания субфенокристов из основной массы.

Заключение

Полученные нами барометрические оценки согласуются с предположениями О.Н. Вольница с соавторами [2] о малоглубинном расположении магматического очага вулкана Крашенинникова. Данные спутниковой интерферометрии для начального периода извержения вулкана также предполагают малоглубинный источник деформаций Северного конуса вулкана [1]. Близость оценок температур по клинопироксену и оксидам гломеропорфировых сростков, а также отсутствие зональности темноцветных минералов указывает на узкий диапазон условий кристаллизации вкрапленников. Двухзонная обратная зональность плагиоклаза и редкие свидетельства неравновесности, такие как зоны резорбции вкрапленников, могут объясняться выделением скрытой теплоты кристаллизации при декомпрессии [4]. Расчет моделей декомпрессионной кристаллизации и уточнение барометрических оценок на основе изучения включений в минералах станет предметом наших будущих исследований.

Работа выполнена в рамках госзаданий ИВИС ДВО РАН (тема FWME-2024-0012) и ГЕОХИ РАН (FMMZ-2024-0030).

Список литературы

1. Волкова М.С., Михайлов В.О. Интерпретация полей смещений, зафиксированных в кальдере вулкана Крашенинникова методами спутниковой радиолокационной интерферометрии после Камчатского мегаземлетрясения 29.07.2025 // Материалы 23-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2025. С. 316.
2. Вольнец О.Н., Пономарева В.В., Цурюпа А.А. Петрологические и тефрохронологические исследования вулкана Крашенинникова на Камчатке // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1989. № 7. С. 15-31.
3. Andersen D.J., Lindsley D.H. New (and final!) models for the Ti-magnetite/ilmenite geothermometer and oxygen barometer (abs.) // EOS. 1985. V. 66. P. 416.
4. Blundy J., Cashman K., Humphreys M. Magma heating by decompression-driven crystallization beneath andesite volcanoes // Nature. 2006. V. 443. Is. 7107. P. 76-80.

5. *Gorbach N.V., Ozerov A.Yu., Rogozin A.N. et al.* First historical eruption of Krasheninnikov volcano (Eastern Kamchatka): field observations and composition of lavas erupted in August and September 2025 // *Journal of Volcanology and Seismology*. 2026. V. 20. Is. 1. P. 1-14. <https://doi.org/10.1134/S0742046325700678>
6. *Sauerzapf U., Lattard D., Burchard M., Engelmann R.* The titanomagnetite-ilmenite equilibrium: New experimental data and thermo-oxybarometric application to the crystallization of basic to intermediate rocks // *Journal of Petrology*. 2008. V. 49(6). P. 1161-1185. <https://doi.org/10.1093/petrology/egn023>
7. *Putirka K.D.* Thermometers and barometers for volcanic systems // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 2008. V. 69(1). P. 61-120.
8. *Wang X., Hou T., Wang M. et al.* A new clinopyroxene thermobarometer for mafic to intermediate magmatic systems // *European Journal of Mineralogy*. 2021. V. 33(5). P. 621-637. <https://doi.org/10.5194/ejm-33-621-2021>