

Составы расплавов кислых магм экструзий кальдеры Карымшина (Южная Камчатка) по результатам исследований расплавных включений в кварце
Рогозин А.Н.¹, Смирнов С.З.²

Compositions of silicic magma melts from Karymshina caldera extrusions (Southern Kamchatka) based on the results of studies of melt inclusions in quartz
Rogozin A.N., Smirnov S.Z.

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

² *Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск*

Показано, что экструзии кальдеры Карымшина были сформированы при выдавливании высокоглиноземистых риолитовых магм с умеренным и высоким содержанием K_2O . Исходные составы расплавных включений (РВ) в кварце соответствуют стеклу основной массы. Составы этих пород отвечают материнским магмам, в которых кристаллизовался кварц. Предварительные результаты анализа составов стекол РВ в кварце внутрикальдерных игнимбритов показывают, что они близки к составам РВ в кварце экструзий.

Одной из важнейших проблем вулканологии в настоящее время является реконструкция магматических процессов, приводящих к крупнообъемным игнимбритообразующим извержениям и формированию гигантских кальдер на поверхности Земли. Вулканические извержения такого масштаба – суперизвержения, способны привести к глобальным катастрофам, изменить климат и жизнь на Земле. Огромные магматические очаги супервулканов генерируют тепло для современных гидротермальных систем и являются источниками вещества для процессов рудообразования. Условия, при которых происходит становление очагов суперизвержений, особенности составов магм и их природа до сих пор вызывают горячие дискуссии. В то же время, именно эти сведения необходимы для обнаружения предвестников грядущих катастроф.

В 2007 г. на территории Южной Камчатки были обнаружены остатки крупнейшего в России кальдерного вулкана, получившего название кальдеры Карымшина [1]. В плане кальдера имеет овальную форму (25×15 км). Она вытянута в северо-западном направлении и имеет возраст 1.78 млн лет [5]. Объем изверженных продуктов составил ~825 км³ или $2 \cdot 10^{15}$ кг [1]. Максимальная мощность толщи игнимбритов выявлена в верховьях р. Карымшина и достигает 1000 м. Игнимбриты сохранились, в основном, внутри кальдеры, а за ее пределами они встречаются в небольшом количестве [1]. Все эти данные позволили рассматривать кальдеру Карымшина как супервулкан и поставить ее в один ряд с такими гигантами, как Тоба (Индонезия), Йеллоустон (США), Пакана (Чили), Тимбер Маутин (США), Таупо (Новая Зеландия), Лонг Велли (США) [6].

Процесс образования кальдеры Карымшина завершился внедрением серии риолитовых экструзий вдоль кольцевого разлома в период 0.5-0.9 млн лет [3]. С некоторыми экструзивными куполами связаны мощные лавовые потоки. Минимальные оценки объемов кислых экструзий и их потоков составили 2.68 км³. Это самые большие объемы кислого экструзивного вулканизма, определенные на территории Камчатки [3]. Экструзивные купола кальдеры Карымшина сложены высокоглиноземистыми риолитами (70.4-77.1 масс. % SiO_2) нормальной щелочности с умеренными и высокими содержаниями K_2O , $Na_2O/K_2O \sim 1.1$ и низкими CaO , FeO и MgO . Главными минералами вкрапленниками являются К-полевой шпат, плагиоклаз и кварц. В подчиненном количестве встречается биотит, апатит и магнетит. Некоторые экструзии сложены риолитами с витрофировой основной массой. Составы ее стекла также отвечают высокоглиноземистым риолитам (~78 масс. % SiO_2) нормальной щелочности, однако содержания K_2O варьируют от типичных для валовых составов пород ~3 масс. % до ~6 масс. %, что приводит к уменьшению Na_2O/K_2O до ~0.3.

Содержания CaO, FeO и MgO, как правило, ниже, чем в валовых составах пород экструзий.

Составы пород экструзий характеризуются закономерным снижением содержаний Al_2O_3 , FeO, CaO, Na_2O и незначительным повышением K_2O по мере увеличения концентраций SiO_2 .

Вкрапленники кварца (рис. 1а, б) представлены в виде крупных кристаллов (0.7-2.1 мм) и содержат обильные расплавные включения (PB) в форме обратного кристалла (рис. 1в, г). По фазовому составу при комнатной температуре PB были разделены на три группы: (1) однофазовые стекловатые, которые встречаются редко; (2) двухфазовые, содержащие стекло и газовый пузырек разного размера; (3) многофазовые, содержащие стекло, кристаллы и/или газовый пузырек. Для получения информации по составам расплавов были использованы природно-закаленные включения, содержащие при комнатной температуре стекло и пузырек.

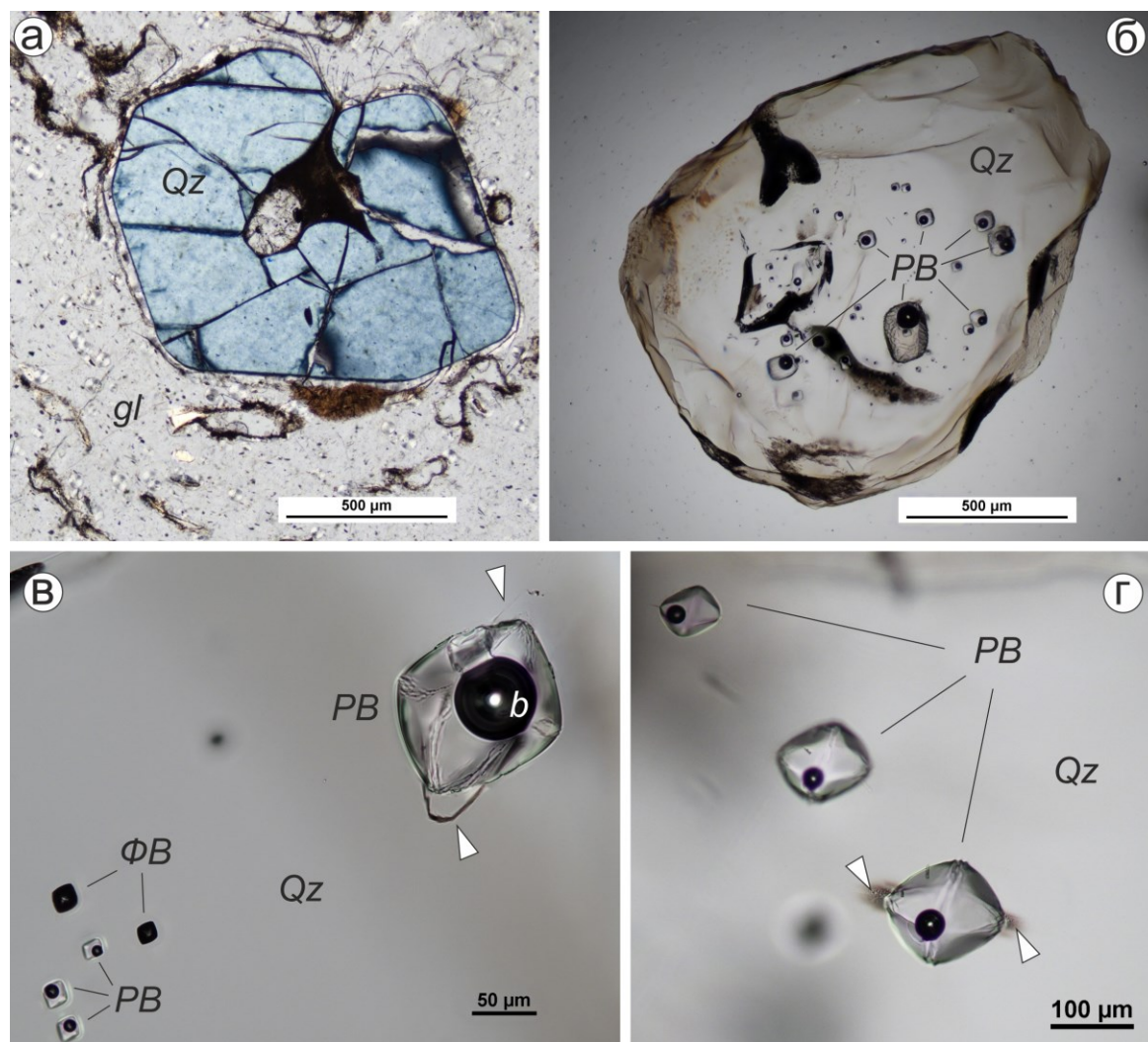


Рис. 1. Вкрапленник кварца: в шлифе (а), вмонтированный в шашку с эпоксидной смолой (б), содержащий расплавные включения в форме обратного кристалла (в-г). Qz – кварц, gl – витрофировая основная масса экструзии, PB – расплавное включение, ФВ – флюидное включение, b – газовый пузырек. Белыми стрелками на (в, г) отмечены трещины декрепитации.

Составы PB (главные компоненты) определялись рентгеноспектральным анализом методом энерго-дисперсионной спектрометрии (ЭДС). Присутствие воды в стекле PB определялось качественно методом рамановской спектроскопии и оценивалось количественно по недостатку суммы ЭДС.

Состав и условия равновесия расплавных включений

Результаты рентгеноспектрального анализа методом ЭДС стекол РВ показали, что их составы не соответствуют валовым составам пород экструзий (рис. 2). Было установлено, что они попадают в поле высокоглиноземистых риолитов (77.3-79.2 масс. % SiO_2) с высокими и ультра-высокими содержаниями K_2O (рис. 2), $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} \sim 0.7$ и низкими CaO , FeO и MgO . Состав стекол РВ характеризуется также закономерным снижением содержаний Al_2O_3 , незначительным снижением K_2O по мере увеличения концентраций SiO_2 . Содержания CaO , FeO и Na_2O в стеклах РВ практически не меняются по мере увеличения концентраций SiO_2 .

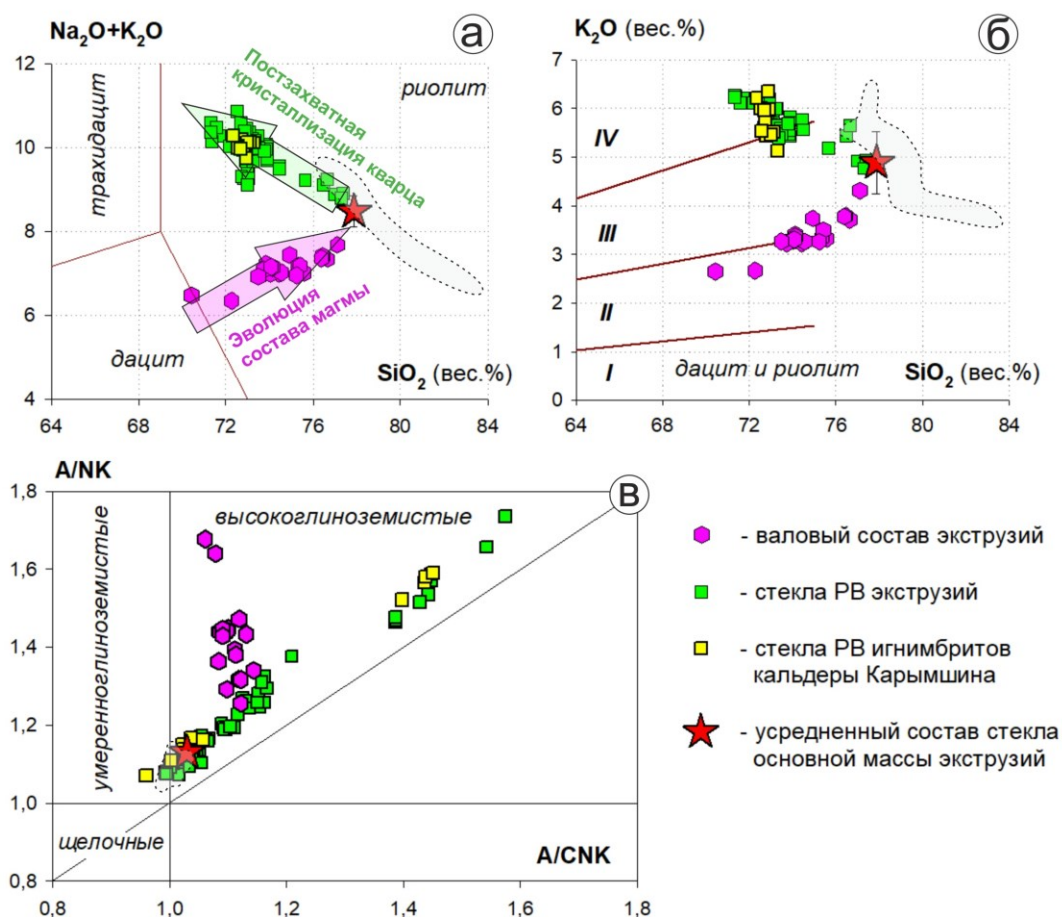


Рис. 2. Положение валовых составов пород экструзий, стекол РВ, витрофировой и раскристаллизованной основной массы экструзий на классификационных диаграммах кислых пород. Римскими цифрами на диаграмме $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ (б) обозначены поля кислых пород: I – низкокалиевых, II – умереннокалиевых, III – высококалиевых и IV – ультракалиевых. Точечным пунктиром показано поле раскристаллизованной основной массы экструзий.

Методом рамановской спектроскопии в стеклах некоторых РВ было качественно установлено наличие воды. По недостатку суммы рентгеноспектрального анализа содержания воды могут быть оценены в диапазоне от 0 до 6 масс. % H_2O . Линии вариаций стекол РВ и составов пород не совпадают, но пересекаются в районе средних составов стекла основной массы экструзий. Составы стекол расплавных включений предполагают, что они могли быть в равновесии с кварцем при температурах около 800-640 °С, если принимать, что захват включений произошел при давлении 1.8 кбар [4], а содержание воды варьировало от 0.2 до 1 концентрации насыщения при этом давлении.

Полученные данные показывают, что включения подверглись постзахватной кристаллизации кварца на стенки включения при температурах около 800-640 °С,

рассчитанных по методике [2]. На стенки включений в ходе этого процесса было отложено от 0 до примерно 20 масс. % захваченного расплава. Линия вариаций составов стекол РВ в кварце пересекается с трендом эволюции составов пород экструзий в области средних составов стекла витрофировой основной массы (рис. 2). Это сопоставление дает основание считать, что исходные составы РВ в кварце соответствуют стеклу основной массы и, соответственно, составы этих пород отвечают материнским магмам, в которых кристаллизовался кварц. Предварительные результаты анализа составов стекол РВ в кварце внутрикальдерных игнимбритов показывают, что они близки к составам РВ в кварце экструзий, претерпевшим отсадку примерно 15-18 масс. % захваченного расплава. Опираясь на это, можно предположить, что экструзии представляют собой наиболее поздние фракции магм того же очага, который участвовал в кальдерообразующем извержении и образовании внутрикальдерных игнимбритов.

Выводы

Кислые экструзии кальдеры Карымшина были сформированы в результате выдавливания высокоглиноземистых риолитовых магм с умеренным и высоким содержанием K_2O . Температуры, при которых происходила кристаллизация кварца в этих магмах, вероятнее всего, должны быть несколько выше $800\text{ }^{\circ}C$. Магмы экструзий состоят из расплава, состав которого отвечает высокоглиноземистому высококалиевому риолиту, из которого кристаллизуются кварц, плагиоклаз, калиевый полевой шпат и другие минералы, обнаруженные в образцах экструзий. В ходе дальнейших работ планируется уточнить содержание воды и характер вариаций давления в ходе эволюции материнских магм экструзий кальдеры Карымшина, а также уточнить, существует ли генетическая связь между магмами экструзивной и игнимбритовой стадий образования кальдеры Карымшина.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 22-17-00074 «Детальная летопись эксплозивного вулканизма в островодужных системах Северной Пацифики: хронология, геохимия и взаимосвязь с климатом» (<https://rscf.ru/project/22-17-00074/>).

Аналитические исследования выполнены в «Центре коллективного пользования научным оборудованием много-элементных и изотопных исследований СО РАН» (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск), исследования валового состава кислых пород экструзий выполнены в АЦ ИГХ СО РАН (г. Иркутск).

Список литературы

1. *Леонов В.Л., Rogozin A.H.* Карымшина – гигантская кальдера – супервулкан на Камчатке: границы, строение, объем пирокластики // Вулканология и сейсмология. 2007. № 5. С. 14-28.
2. *Плечов П.Ю., Щеклеина М.Д., Дымишиц А.М.* Моделирование равновесия кварц-расплав в простых и многокомпонентных системах // Новые данные о минералах. 2023. Т. 57. Вып. 4. С. 110-118.
3. *Рогозин А.Н.* Новые данные о кислых экструзиях Банно-Карымшинского района, Камчатка // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. № 10. С. 156-164.
4. *Bindeman I.N., Leonov V.L., Colon D.P. et al.* Isotopic and Petrologic Investigation and a Thermomechanical Model of Genesis of Large Volume Rhyolites in Arc Environments: Karymshina Volcanic Complex, Kamchatka, Russia // *Frontiers in Earth Science*. 2019. V. 6. Art. 238. <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00238>
5. *Bindeman I.N., Leonov V.L., Izbekov P.E. et al.* Large-volume silicic volcanism in Kamchatka: Ar–Ar and U–Pb ages, isotopic, and geochemical characteristics of major pre-Holocene caldera-forming eruptions // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2010. V. 189. P. 57-80.
6. *Mason B.G., Pyle D.M., Oppenheimer C.* The size and frequency of the largest explosive eruptions on Earth // *Bulletin of volcanology*. 2004. V. 66. P. 735-748.