

Содержание H_2O в расплавах, участвовавших в образовании кальдеры Карымшина (Южная Камчатка)

Рогозин А.Н.¹, Смирнов С.З.²

H_2O content in melts involved in the formation of the Karymshina caldera (South Kamchatka)

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

Сообщение посвящено определению содержания воды в расплавах магм, извержение которых образовало игнимбриты и экструзии кальдеры Карымшина. Исследовались природно-закаленные стекловатые расплавные включения во вкрапленниках кварца из пород посткальдерных экструзий и внутрикальдерных игнимбритов.

Одним из важнейших вопросов эволюции очагов мощных эксплозивных извержений является природа, состав и количество воды в магме в период подготовки кальдерообразующих эксплозивных извержений. Вода, как правило, доминирует в составе магматических летучих компонентов. По данным [6, 9, 11], в насыщенных водным флюидом расплавах кислых магм, с которыми чаще всего связаны эксплозивные извержения с образованием кальдер, может содержаться 4-6 мас. % H_2O (800-900 °C, 1-2 кбар). Содержание CO_2 при тех же параметрах составляет не более 0.1 мас. % при максимальном содержании этого компонента в сосуществующем флюиде [11].

Кальдера Карымшина (Южная Камчатка) возникла в период 1.7-0.5 млн лет назад в результате мощнейшего на Камчатке (и на территории России) эксплозивного извержения или серии извержений, сопровождавшихся образованием гигантской кальдеры [2, 7, 8], мощных толщ пирокластики и выдавливанием экстраординарно большого объема дегазированной магмы в виде экструзий [3].

Вулканическое извержение такого масштаба предполагает участие флюидонасыщенной магмы. При этом данные о том, каков был состав летучих компонентов, каковы были их концентрации в расплаве и как вели себя летучие компоненты в ходе подготовки очага к извержению, на сегодняшний день отсутствуют. Наше исследование посвящено определению содержания воды в расплавах магм, извержение которых образовало игнимбриты и экструзии кальдеры Карымшина.

Флюидные и расплавные включения

Для определения содержаний H_2O исследовались расплавные включения (РВ) во вкрапленниках кварца из пород посткальдерных экструзий и внутрикальдерных игнимбритов.

Экструзивные купола кальдеры Карымшина сложены высокоглиноземистыми риолитами (70.4-77.1 мас. % SiO_2) нормальной щелочности с умеренными и высокими содержаниями K_2O , $Na_2O/K_2O \sim 1.1$ и пониженными CaO , FeO и MgO . Главными минералами вкрапленниками являются К-полевой шпат, плагиоклаз и кварц. В подчиненном количестве встречается биотит, апатит, магнетит, циркон. Игнимбриты близки по валовому составу к экструзиям, но несколько отличаются более широким диапазоном вариаций составов. Они также относятся к высокоглиноземистым риолитам (71.2-73.5 мас. % SiO_2) нормальной щелочности с умеренными содержаниями K_2O , $Na_2O/K_2O \sim 1.5$ и низкими CaO , FeO и MgO .

Вкрапленники кварца в риолитах экструзий и игнимбритах (0.7-2.1 мм) содержат обильные расплавные и редкие флюидные включения (ФВ). Все включения расположены по зонам роста или образуют небольшие азональные группы [4, 5]. ФВ и РВ имеют форму отрицательного кристалла. Часть РВ частично или полностью

раскристаллизована, но часто при комнатной температуре РВ содержат только стекло и пузырьки. Почти все РВ окружены трещинами декрипитации. Флюидные включения при комнатной температуре имеют существенно газовый состав.

Состав и условия захвата расплавных включений

Составы природно закаленных стекол РВ в кварце экстрוזий и игнимбритов не соответствуют валовым составам пород (рисунок). Они обогащены SiO_2 (70.9-78.1 мас. %), K_2O ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} \sim 0.7$), но, также как и составы пород и стекла основной массы, обеднены CaO , FeO и MgO . В отличие от валовых составов пород и стекла основной массы, стекла РВ характеризуются закономерным обеднением Al_2O_3 , незначительным снижением K_2O по мере увеличения SiO_2 . Содержания CaO , FeO и Na_2O при этом практически не меняются. Эти вариации объясняются постзахватной кристаллизацией кварца на стенки включений [5].

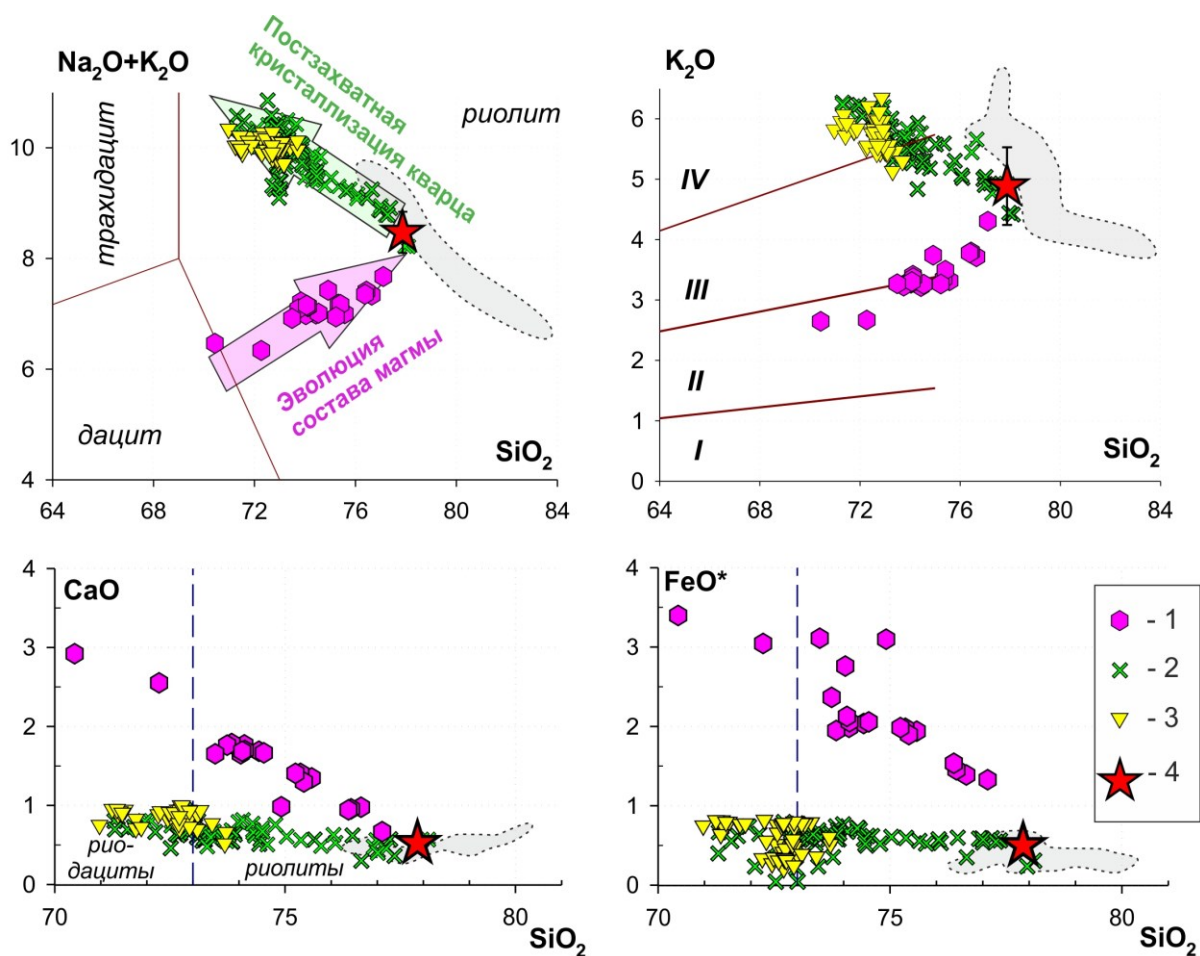


Рисунок. Положение валовых составов пород экстрוזий (1), стекол РВ экстрוזий (2) и стекол РВ игнимбритов (3), витрофировой (4) и раскристаллизованной (точечный пункт с серой заливкой контура) основной массы экстрוזий на классификационных диаграммах кислых пород. Римскими цифрами на диаграмме $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ обозначены поля кислых пород: I – низкокалиевых, II – умереннокалиевых, III – высококалиевых и IV – ультракалиевых. Для диаграмм использованы значения, полученные при пересчете сумм анализа на 100 мас. %.

Составы стекол РВ в кварце экстрוזий образуют единый эволюционный тренд, пересекающийся с трендом эволюции валовых составов пород экстрוזий и стекла их витрофировой основной массы в точке, отвечающей среднему составу стекла основной массы (рисунок). Таким образом, захваченный в РВ расплав имел такой же состав ($\text{SiO}_2=77.8$; $\text{K}_2\text{O}=4.9$; $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}=0.7$), как и стекло основной массы. На рисунке видно, что составы РВ в кварце игнимбритов образуют компактную группу, наложенную на

тренд составов стекла РВ в кварце экструзий. Это означает, что кварц игнимбритов захватил тот же самый расплав, что и кварц экструзий, и часть вкрапленников кварца в породах экструзий образовалась тогда же, когда и кварц игнимбритов. Все это позволяет сделать вывод, что кварц экструзий и игнимбритов кристаллизовался в одной и той же магме. В этом случае можно предположить, что валовый состав пород экструзий по главным компонентам будет представительным для материнской магмы, спровоцировавшей образование кальдеры Карымшина [5].

Содержание H_2O в расплавах

Для определения содержания воды в расплавах использовалась методика [1]. Она предполагает одновременное определение содержания воды двумя методами: рентгеноспектрального микроанализа и спектроскопии комбинационного рассеяния (КРС) для взаимной верификации одного метода другим. Перед проведением измерений нами была выполнена калибровка спектрометра Horiba Lab Ram HR800 с помощью набора стандартов синтетических стекол гаплогранитного состава (SGS) с содержанием воды от 1.8 до 5.9 мас. % [1].

Методом КРС содержание воды в разных природно-закаленных стекловатых расплавных включениях было определено на уровне от 2.3 до 6 мас. % H_2O . По данным рентгеноспектрального микроанализа, содержание воды, измеренное по избытку кислорода, составило от 3.6 до 8.4 мас. %. Стекла включений, в которых содержания воды, определенные разными методами, были близки в пределах ошибки, содержат от 4.5 до 6 мас. % H_2O . С учетом постзахватной кристаллизации кварца на стенках включения, составляющей от 5 до 15 % от массы захваченного расплава, содержание воды в нем должно было составлять от 4.3-5.7 мас. % H_2O . Сделанные нами ранее оценки содержания воды по недостатку суммы электронно-зондового микроанализа составили от 0 до 6 мас. % [4, 5]. Таким образом, полученные нами оценки попадают в указанный диапазон.

Содержания воды в РВ в кварце игнимбритов оказались ниже пределов обнаружения. Учитывая, что расплавы магм, образовавших внутрикальдерные игнимбриты и посткальдерные экструзии, имеют одинаковый состав главных компонентов, и то, что образование игнимбритов неизбежно связано с эксплозивным характером извержения, мы считаем, что незначительные содержания воды в РВ связаны с постзахватной потерей воды из-за декрипитации включений. Так как признаки декрипитации наблюдаются и у включений, содержащих значительные количества воды, нельзя исключить, что наши оценки могут также быть занижены.

Таким образом, если образование игнимбритов и экструзий связано с расплавами одинакового состава, то, соответственно, оценка содержания воды по РВ в кварце из экструзий дает нам возможность считать, что расплавы той части очага, которая участвовала в кальдерообразующем извержении, также могли достигать оцененных нами содержаний H_2O .

Находки флюидных включений, сингенетичных расплавному в кварце экструзий, позволяют сделать вывод о том, что перед извержением расплавы были насыщены флюидом. Нам удалось получить доказательство того, что флюидные включения содержат H_2O , но при этом в них отсутствуют значимые количества CO_2 . Для расчета растворимости H_2O в риолитовом расплаве, находящемся в равновесии с чисто водным флюидом, мы использовали модель VolatileCalc [10]. Для расчета была использована температура 750 °C, оцененная для равновесия кварца с расплавом реконструированного состава в условиях насыщения водой [4, 5]. Величина давления 1.78 кбар была взята из работы [7]. При этих параметрах риолитовый расплав в равновесии с чисто водным флюидом будет содержать 5.8 мас. % H_2O , что хорошо согласуется с оцененными нами содержаниями воды в магматических расплавах, связанных с образованием кальдеры Карымшина.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 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 ЦКП «Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН» ИГМ СО РАН (г. Новосибирск). Исследования валового состава кислых пород экструзий и игнимбритов выполнены в АЦ ИГХ СО РАН (г. Иркутск).

Список литературы

1. Котов А.А., Смирнов С.З., Плечов П.Ю. и др. Методика определения содержания воды в природных расплавах риолитового состава методами спектроскопии комбинационного рассеивания и электронно-зондового микроанализа // Петрология. 2021. Т. 29. № 4. С. 429-448. <https://doi.org/10.31857/S086959032104004X>
2. Леонов В.Л., Rogozin A.H. Карымшина – гигантская кальдера – супервулкан на Камчатке: границы, строение, объем пирокластики // Вулканология и сейсмология. 2007. № 5. С. 14-28.
3. Rogozin A.H. Новые данные о кислых экструзиях Банно-Карымшинского района, Камчатка // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. № 2. Вып. 10. С. 156-164.
4. Rogozin A.H., Смирнов С.З. Состав и условия захвата включений во вкрапленниках кварца игнимбритов и экструзий кальдеры Карымшина (Южная Камчатка) // Материалы Годичного собрания РМО «Минералогические исследования в интересах развития минерально-сырьевого комплекса России и создания современных технологий». Апатиты, 16-21 сентября 2024 г. Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2024. С. 154-155.
5. Rogozin A.H., Смирнов С.З. Составы расплавов кислых магм экструзий кальдеры Карымшина (Южная Камчатка) по результатам исследований расплавных включений в кварце // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXVI ежегодной научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 27-29 марта 2024 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2024. С. 125-128.
6. Baker D.R., Alletti M. Fluid saturation and volatile partitioning between melts and hydrous fluids in crustal magmatic systems: The contribution of experimental measurements and solubility models // Earth-Science Reviews. 2012. V. 114. № 3-4. P. 298-324.
7. 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>
8. 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.
9. Holtz F., Behrens H., Dingwell D.B. et al. H₂O solubility in haplogranitic melts: Compositional, pressure, and temperature dependence // American Mineralogist. 1995. V. 80. № 1-2. P. 94-108.
10. Newman S., Lowenstern J.B. VolatileCalc: a silicate melt-H₂O-CO₂ solution model written in Visual Basic for excel // Computers & Geosciences. 2002. V. 28. № 5. P. 597-604. [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(01\)00081-4](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(01)00081-4)
11. Tamic N., Behrens H., Holtz F. The solubility of H₂O and CO₂ in rhyolitic melts in equilibrium with a mixed CO₂-H₂O fluid phase // Chemical Geology. 2001. V. 174. P. 333-347.