



**Флюидный режим очагов
крупных кальдерообразующих извержений
на примере плейстоцен-голоценовых кальдер
острова Итуруп (Курильские острова)**

С. З. Смирнов^{1,3}И. А. Максимович²А. А. Котов²Т. Ю. Тимина¹Т. А. Бульбак¹А. А. Томиленко¹Д. В. Кузьмин^{1,2}А. Я. Шевко¹А. В. Рыбин⁴¹Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия²Новосибирский государственный университет, Новосибирск³Томский государственный университет, Томск, Россия⁴Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

Приводятся результаты исследования летучих компонентов во флюидных и расплавных включениях в минералах дацитовых пемз перешейка Ветрового и кальдеры Львиная Пасть на о. Итуруп. Дацитовые магмы обоих кальдерных центров состояли из плагиориолитового расплава и магматических вкрапленников и реститовых минералов. Кристаллизация минералов происходила при температурах около 850 °С в условиях буфера NNO+1. Очаг кальдерного извержения перешейка Ветрового находился на малых глубинах (давление ~1 кбар), что привело к дегазации и отделению углекислотно-водного флюида. Очаг кальдеры Львиная Пасть находился на больших глубинах (давление >1 кбар), и повышение давления воды привело к кристаллизации роговой обманки. Поведение воды и углекислоты в очагах определяется главным образом давлением и возможностью проявления процессов дегазации. Во всех случаях летучие элементы вели себя как типичные несовместимые компоненты, и основная их масса концентрировалась магматическим расплавом.

Ключевые слова

Курильские острова, кальдеры, кислые расплавы, магматический очаг, расплавные включения

Для цитирования: Смирнов С.З., Максимович И.А., Котов А.А., Тимина Т.Ю., Бульбак Т.А., Томиленко А.А., Кузьмин Д.В., Шевко А.Я., Рыбин А.В. Флюидный режим очагов крупных кальдерообразующих извержений на примере плейстоцен-голоценовых кальдер острова Итуруп (Курильские острова). *Геосистемы переходных зон*. 2018. Т. 2, № 4. С. 365–376. doi: 10.30730/2541-8912.2018.2.4.365-376

For citation: Smirnov S.Z., Maksimovich I.A., Kotov A.A., Timina T.Yu., Bulbak T.A., Tomilenko A.A., Kuzmin D.V., Shevko A.Ya., Rybin A.V. Behavior of volatiles in the magmatic reservoirs of large-scale eruptions of Pleistocene-Holocene calderas of Iturup Island (Kuril Islands). *Geosystems of Transition Zones*, 2018, vol. 2, N 4, p. 365–376. (In Russ.). doi: 10.30730/2541-8912.2018.2.4.365-376

Список литературы

1. Авдейко Г.П., Антонов А.Ю., Волюнец О.Н. *Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги*. М.: Наука, 1992. 528 с.
2. Базанова Л.И., Мелекестев И.В., Пономарева В.В., Дирксен О.В., Дирксен В.Г. Вулканические катастрофы позднего плейстоцена – голоцена на Камчатке и Курильских островах. Ч. 1. Типы и классы катастрофических извержений – главных компонентов вулканического катастрофизма // *Вулканология и сейсмология*. 2016. № 3. С. 3–21. <https://doi.org/10.7868/S0203030616030020> [Bazanova L.I., Melekestsev I.V., Ponomareva V.V., Dirksen O.V., Dirksen V.G. Late Pleistocene and Holocene volcanic catastrophes in Kamchatka and in the Kuril Islands. Pt. 1. Types and classes of

- catastrophic eruptions as the leading components of volcanic catastrophism. *J. of Volcanology and Seismology*, 2016, 10(3): 151–169. <https://doi.org/10.1134/s0742046316030027>]
3. Горшков Г.С. *Вулканизм Курильской островной дуги*. М.: Наука, 1967. 287 с.
 4. Дегтерев А.В., Рыбин А.В., Арсланов Х.А., Коротеев И.Г., Гурьянов В.Б., Козлов Д.Н., Чибисова М.В. Катастрофические эксплозивные извержения Львиной Пасти (о. Итуруп): Стратиграфия и геохронология // *Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска: Всерос. конф. Южно-Сахалинск, 26–30 мая 2015*: сб. материалов. Владивосток: Дальнаука, 2015. Т. 2. С. 210–213.
 5. Смирнов С.З., Соколова Е.Н., Рыбин А.В., Кузьмин Д.В., Тимина Т.Ю., Максимович И.А., Котов А.А., Бефус А.И., Шевко А.Я., Низаметдинов И.Р., Дегтерев А.В. Природа островодужных дацитов на примере пемз крупного кальдерного извержения перешейка Ветровой (о-в Итуруп, Курильские острова) // *Петрология магматических и метаморфических формаций: материалы Всерос. петрогр. конф. с междунар. участием*. Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2016. Вып. 8. С. 338–344.
 6. Смирнов С.З., Рыбин А.В., Соколова Е.Н., Кузьмин Д.В., Дегтерев А.В., Тимина Т.Ю. Кислые магмы кальдерных извержений острова Итуруп: первые результаты исследования расплавных включений во вкрапленниках пемз кальдеры Львиная Пасть и перешейка Ветровой // *Тихоокеан. геология*. 2017. Т. 36, № 1. С. 50–68. [Smirnov S.Z., Rybin A.V., Sokolova E.N., Kuzmin D.V., Degterev A.V., Timina T.Y. Felsic magmas of the caldera-forming eruptions on the Iturup Island: the first results of studies of melt inclusions in phenocrysts from pumices of the Lvinaya Past and Vetrovoy Isthmus calderas. *Russian J. of Pacific Geology*, 2017, 11(1): 46–63. <https://doi.org/10.1134/s1819714017010080>]
 7. Луканин О.А. Распределение хлора между расплавом и водно-хлоридной флюидной фазой в процессе дегазации гранитных магм. Сообщение I. Дегазация расплавов при снижении давления // *Геохимия*. 2015. № 9. С. 801–827. <https://doi.org/10.7868/S0016752515090046> [Lukanin O.A. Chlorine partitioning between melt and aqueous chloride fluid during granite magma. Degassing I. Decompression-induced melt degassing. *Geochemistry International*, 2015, 53(9): 786–810. <https://doi.org/10.1134/s0016702915090049>]
 8. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Сулержицкий Л.Д. Катастрофические эксплозивные извержения вулканов Курило-Камчатской области в конце плейстоцена – начале голоцена // *Докл. АН СССР*. 1988. Т. 300, № 1. С. 175–181.
 9. *Новейший и современный вулканизм на территории России* / [отв. ред. Н.П. Лаверов]. М.: Наука, 2005. 604 с.
 10. Щербаков В.Д., Некрылов Н.А., Савостин Г.Г., Попов Д.В., Дирксен О.В. Состав расплавных включений в минералах тефр почвенно-пирокластического чехла острова Симушир // *Вестн. Москов. ун-та. Серия 4: Геология*. 2017. № 6. С. 35–45. [Shcherbakov V.D., Nekrylov N.A., Savostin G.G., Popov D.V., Dirksen O.V. The composition of melt inclusions in phenocrysts in tephra of the Simushir island, Central Kuriles. *Moscow Univ. Geology Bull.*, 2018, 73(1): 31–42. <https://doi.org/10.3103/s014587521801009x>]
 11. Anderson A.T., Davis A.M., Lu F.Q. Evolution of Bishop Tuff rhyolitic magma based on melt and magnetite inclusions and zoned phenocrysts // *J. of Petrology*. 2000. Vol. 41 (3). P. 449–473. <https://doi.org/10.1093/petrology/41.3.449>
 12. Beard J.S., Lofgren G.E. Dehydration melting and water-saturated melting of basaltic and andesitic greenstones and amphibolites // *J. of Petrology*. 1991. Vol. 32 (2). P. 365–401. <https://doi.org/10.1093/petrology/32.2.365>
 13. Blundy J.D., Holland T.J.B. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1990. Vol. 104 (2). P. 208–224. <https://doi.org/10.1007/bf00306444>
 14. Bryan S.E., Peate I.U., Peate D.W., Self S., Jerram D.A., Mawby M.R., Marsh J.S., Miller J.A. The largest volcanic eruptions on Earth // *Earth-Science Reviews*. 2010. Vol. 102. P. 207–229. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.07.001>
 15. Drew D.L., Bindeman I., Loewen M.W., Wallace P.J. Initiation of large-volume silicic centers in the Yellowstone hotspot track: insights from H₂O- and F-rich quartz-hosted melt inclusions in Arbon Valley Tuff of the Snake River Plain // *Contrib. Mineral. Petrol.* 2016. Vol. 171. Art. 10. <https://doi.org/10.1007/s00410-015-1210-z>
 16. Edmonds M., Wallace P.J. Volatiles and exsolved vapor in volcanic systems // *Elements*. 2017. Vol. 13(1). P. 29–34. <https://doi.org/10.2113/gselements.13.1.29>
 17. Hammarstrom J.M., Zen E. Aluminum in hornblende: an empirical igneous geobarometer // *American Mineralogists*. 1986. Vol. 71. P. 1297–1313.
 18. Helz R.T. Phase relations of basalts in their melting range at P_{H₂O} = 5 kb as a function of oxygen fugacity. Pt I. Mafic phases // *J. of Petrology*. 1973. Vol. 14. P. 249–302.

19. Holland T., Blundy J. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1994. Vol. 116. P. 433–447. <https://doi.org/10.1007/bf00310910>
20. Hollister L.S., Grissom G.C., Peters E.K., Stowell H.H., Sisson V.B. Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons // *American Mineralogists.* 1987. Vol. 72. P. 231–239.
21. Kotov A.A., Smirnov S.Z., Maksimovich I.A., Plechov P.Yu., Chertkova N.V., Befus A.I. Water in melt inclusions from phenocrysts of dacite pumice of the Vetrovoy Isthmus (Iturup Island, Southern Kuriles) // *IOP Conf. Ser.: Earth Environment. Sci.* 2017. Vol. 110. P. 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/110/1/012009>
22. Maksimovich I.A., Smirnov S.Z., Kotov A.A., Timina T.Yu., Shevko A.Ya. Magma storage constrains by compositional zoning of plagioclase from dacites of the caldera forming eruptions of Vetrovoy Isthmus and Lvinaya Past' Bay (Iturup Island, Kurile Islands) // *IOP Conf. Ser.: Earth Environment. Sci.* 2017. Vol. 110. P. 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/110/1/012015>
23. Molina J.F., Moreno J.A., Castro A., Rodríguez C., Fershtater G.B. Calcic amphibole thermobarometry in metamorphic and igneous rocks: New calibrations based on plagioclase/amphibole Al-Si partitioning and amphibole/liquid Mg partitioning // *Lithos.* 2015. Vol. 232. P. 286–305. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2015.06.027>
24. Oppenheimer C. Volcanic degassing // *In Treatise on Geochemistry.* 2003. Vol. 3. P. 123–166. <https://doi.org/10.1016/b0-08-043751-6/03020-6>
25. Otten M.T. The origin of brown hornblende in the Artfjället gabbro and dolerites // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1984. Vol. 86. P. 189–199.
26. Putirka K.D. Thermometers and barometers for volcanic systems // *Rev. in Mineralogy and Geochemistry.* 2008. Vol. 69. P. 61–120. <https://doi.org/10.2138/rmg.2008.69.3>
27. Putirka K. Amphibole thermometers and barometers for igneous systems and some implications for eruption mechanisms of felsic magmas at arc volcanoes // *American Mineralogist.* 2016. Vol. 101. P. 841–858.
28. Panjasawatwong Y., Danyushevsky L.V., Crawford A.J., Harris K.L. An experimental-study of the effects of melt composition on plagioclase-melt equilibria at 5-kbar and 10-kbar – implications for the origin of magmatic high-An plagioclase // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1995. Vol. 118 (4). P. 420–432. <https://doi.org/10.1007/s004100050024>
29. Papale P., Moretti R., Barbato D. The compositional dependence of the saturation surface of H₂O + CO₂ fluids in silicate melts // *Chemical Geology.* 2006. Vol. 229. P. 78–95. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2006.01.013>
30. Pletchov P.Y., Gerya T.V. Effect of H₂O on plagioclase-melt equilibrium // *Experiment in Geosciences.* 1998. Vol. 7, N 2. P. 7–9. URL: http://library.iem.ac.ru/exper/v7_2/khitar.html#pletchov (дата обращения: 1.11.2018)
31. Scaillet B., Pichavant M. Experimental constraints on volatile abundances in arc magmas and their implications for degassing processes // *Volcanic Degassing / Oppenheimer C., Pyle D.M., Barclay J., eds. Geol. Soc., London, Spec. Publ.* 2003. Vol. 213 (1). P. 23–52. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.2003.213.01.03>
32. Sisson T.W., Grove T.L. Experimental investigations of the role of H₂O in calc-alkaline differentiation and subduction zone magmatism // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1993. Vol. 113 (2). P. 143–166. <https://doi.org/10.1007/bf00283225>
33. Taran Yu., Zelenski M., Chaplygin I., Malik N., Campion R., Inguaggiato S., Pokrovsky B., Kalacheva E., Melnikov D., Kazahaya R., Fischer T. Gas emissions from volcanoes of the Kuril Island Arc (NW Pacific): Geochemistry and fluxes // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems.* 2018. Vol. 19 (6). P. 1859–1880. <https://doi.org/10.1029/2018GC007477>
34. Wallace P.J. Volatiles in subduction zone magmas: concentrations and fluxes based on melt inclusion and volcanic gas data // *J. Volcan. Geotherm. Res.* 2005. Vol. 140. P. 217–240. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2004.07.023>
35. Webster J.D., Kinzler R.J., Mathez E.A. Chloride and water solubility in basalt and andesite melts and implications for magmatic degassing // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1999. Vol. 63 (5). P. 729–738. [https://doi.org/10.1016/s0016-7037\(99\)00043-5](https://doi.org/10.1016/s0016-7037(99)00043-5)
36. Zajacz Z., Candela P.A., Piccoli P.M., Sanchez-Valle C. The partitioning of sulfur and chlorine between andesite melts and magmatic volatiles and the exchange coefficients of major cations // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 2012. Vol. 89. P. 81–101. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2012.04.039>