

Неоплейстоцен-голоценовый эксплозивный кальдерный вулканизм Большой Курильской гряды: распределение вулканов, природа и параметры становления магматических очагов

Смирнов С.З.¹, Котов А.А.², Бергаль-Кувикас О.В.^{3,4}, Дегтерев А.В.⁵, Низаметдинов И.Р.¹, Кузьмин Д.В.¹, Тимина Т.Ю.¹

Late Pleistocene – Holocene caldera volcanism of the Greater Kuril Ridge: volcano distribution, nature and storage conditions of magma reservoirs

Smirnov S.Z., Kotov A.A., Bergal-Kuvikas O.V., Degterev A.V., Nizametdinov I.R., Kuzmin D.V., Timina T.Yu.

¹ *Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск;*

e-mail: ssmr@igm.nsc.ru

² *Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, Sendai, Japan*

³ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский*

⁴ *Камчатский государственный университет им. В. Беринга, г. Петропавловск-Камчатский*

⁵ *Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск*

Неоплейстоцен-голоценовое кальдерообразование Большой Курильской гряды сосредоточено на южных и центральных островах. Оно было связано с развитием в верхних горизонтах земной коры крупных очагов флюидонасыщенных преимущественно дацитовых магм. Рассмотрены особенности распределения вулканов и генезиса магматических очагов.

Пространственное распределение и временные рамки кальдерообразования Большой Курильской гряды

Эксплозивный кальдерный вулканизм относится к наиболее опасным природным явлениям, имеющим катастрофические последствия для живой природы, человека и его экономической деятельности. По мнению разных исследователей, в пределах Большой Курильской гряды (БКГ) выделяются от 11 до 27 кальдер. Данная работа представляет собой обзор оригинальной и опубликованной ранее в литературе информации о кальдерах на островах БКГ.

Четвертичные кальдеры расположены во всех секторах БКГ, однако распределены неравномерно. Наибольшее их количество наблюдается в Южном секторе. Здесь отчетливо выражены 7 кальдер на островах Кунашир (Менделеева и Головнина) и Итуруп (Львиная Пасть, Урбич, Цирк, Камуй, Медвежья). В Центральном секторе выражены 3 субаэральных кальдеры и 1 кальдерный комплекс на островах Симушир, Расшуа и Матуа. Наиболее крупными из них являются кальдеры о. Симушир с диаметрами около 6-7 км. Северный сектор БКГ отличается от Южного и Центрального наименьшим количеством неоплейстоцен-голоценовых кальдер, сосредоточенных на о. Онекотан. В пределах БКГ о. Итуруп является абсолютным лидером по количеству четвертичных кальдер на суше. Размеры кальдер варьируют от 3 до 15 км, но чаще всего они достигают 5-7 км. Самой крупной субаэральной кальдерой БКГ по [1] является кальдера Медвежья (10×9.5 км) на о. Итуруп. Кальдеру Горшкова, обнаруженную в районе островов Черные Братья, можно считать наиболее крупной подводной кальдерой (7.5×11.5 км [2]). Есть также предположение о наличии крупной подводной кальдеры в районе острова Броутона (15×9 км) [1, 3]. Объемы кальдерных извержений оцениваются от 6 до 170 кубических километров [1, 3].

Пемзовая толща на перешейке Ветровом и в его окрестностях на о. Итуруп образовалась в результате извержения, которое должно было сопровождаться кальдерообразованием. Однако очевидные признаки кальдеры на суше отсутствуют. По этой причине до сих пор расположение его эруптивного центра остается предметом дискуссий.

Наиболее древним из датированных кальдерных извержений БКГ является образование кальдеры Медвежьей на о. Итуруп – 0.41±0.1 млн лет [4]. Большая же

часть датировок таких извержений относятся к концу позднего неоплейстоцена – началу голоцена (44.2-10.7 тыс. кал. л.н.). Кальдерообразование происходило и в голоцене, но вероятно не так интенсивно, как в неоплейстоцене. Имеющиеся датировки дают диапазон 9.5-7.7 тыс. кал. л.н. [1, 3]. В позднем голоцене во многих центрах кальдерообразования возникли посткальдерные экструзивные купола и стратовулканы. Мощные извержения, связанные с вулканами, где в неоплейстоцене-голоцене произошло образование крупных кальдер, вероятно, имели место и в позднем голоцене. К ним можно отнести внутрикальдерные пемзы риолитового состава, приуроченные к позднеголоценовому вулкану Меньший Брат (кальдера Медвежья, о. Итуруп). Однако их возраст не установлен точно. Мощное (VEI 4-5) извержение, не сопровождавшееся возникновением кальдеры, произошло около 2.06 тыс. кал. л.н. в районе перешейка Ветрового на о. Итуруп и привело к образованию слоев дацитовой пирокластики на расстоянии до 400 км от эруптивного центра [5].

По оценкам, сделанным в разное время, объемы неоплейстоцен-голоценовых кальдерообразующих извержений варьировали.

Химизм продуктов кальдерообразующих извержений

Отложения кальдерообразующих извержений представлены игнимбритами, пемзовыми, лапиллиевыми и пепловыми туфами. Химизм этих пород варьирует от базальтов до риолитов. При этом резко преобладают умеренноглиноземистые дацитовые и риодацитовые составы (среднее содержание SiO_2 67 мас. %). Наиболее низкими содержаниями кремнезема обладают, как правило, игнимбриты, в то время как пемзы являются более кислыми [6]. Существенные различия валовых составов заметны в содержании оксидов К и Na. Породы изученных кальдер островов Кунашир, Симушир и Итуруп относятся к породам низкой щелочности, в то время как игнимбриты кальдеры Немо III на о. Онекотан попадают в поле пород нормальной щелочности. При этом продукты кальдерных извержений о. Кунашир обладают наименьшим ее значением, а на о. Итуруп – более высоким.

Для пород кальдерных извержений характерно преобладание Na_2O над K_2O . Породы кальдер островов Кунашир и Симушир обладают наименьшим содержанием K_2O и относятся к низкокалиевой серии, в то время как кальдерная пирокластика островов Итуруп и Онекотан группируется вблизи границы между низко- и умеренно калиевой сериями. Это различие еще более резко заметно в составах стекол основной массы. Ювенильный материал кальдерных извержений по составу похож на островодужные и офиолитовые плагиограниты, которые являются аналогами интрузивных М-гранитов, образующихся за счет плавления базитовых субстратов земной коры.

Составы магм и оценка параметров становления очагов кальдерообразующих извержений БКГ

Данные для реконструкции параметров эволюции и становления очагов кальдерных извержений получены только для некоторых кальдер в южном секторе БКГ. Составы расплавных включений и стекол основной массы резко отличаются от валовых составов пород. В некоторых случаях они составляют с ними единый эволюционный тренд, но чаще лежат в стороне от него.

Расплавы, из которых кристаллизовались вкрапленники кислых пемз изученных кальдер на островах Итуруп и Кунашир, имели состав низко и умереннокалиевых известковистых риолитов (плагиориолитов). Наиболее низкокалиевыми оказались расплавы кальдер Менделеева и Головина. Расплавы кальдер о. Итуруп обогащены калием по сравнению с кальдерами Кунашира. Наиболее низкими содержаниями K_2O на о. Итуруп обладают расплавы перешейка Ветрового, а расплавы кальдерного вулкана Львиная Пасть и риолитов кальдеры Медвежьей, напротив – обогащены K_2O

[6]. Минералогические исследования показали, что процесс магмогенерации включал дегидратационное плавление амфиболсодержащих метабазитовых субстратов, приводящее к образованию плагиориолитового расплава и «габброноритового» рестита. Эволюция этой магмы включала последующую кристаллизацию из расплава нового плагиоклаза, к которому на поздних стадиях мог присоединиться кварц [7, 8]. Процессы частичного плавления, как показывают полученные нами данные, протекали в верхних частях островодужной коры на глубинах не более 12 км при температурах около 810-930 °С [8]. Образование очагов извержений перешейка Ветрового и кальдеры Менделеева происходило при 830-890 °С, т.е. в диапазоне температур, сходном с температурами частичного плавления, при давлениях, не превышающих 2-3 кбар [7, 8]. Таким образом, частичное плавление и становление очагов могло происходить в одном и том же диапазоне глубин.

Магматические расплавы в очагах кальдерных извержений были обогащены летучими, среди которых главную роль играют H₂O (до 7.2 мас. % в расплаве) и Cl (до 0.4 мас. % в расплаве). В то же время содержания CO₂ и S в расплавах крайне низки и не превышают 17 и 179 г/т по данным [8]. Вкрапленники плагиоклаза, реже пироксенов, вместе с расплавленными включениями содержат существенно газовые флюидные углекислотно-водные включения, свидетельствующие о том, что расплавы были насыщены флюидом. Наши исследования показали, что расплавы были равновесны с флюидом при давлениях близких к 0.9 кбар, т.е. дегазация в очаге кальдерообразующих извержений могла происходить на глубине около 3 км. Малоглубинная (~3 км) дегазация магм может стать самостоятельным триггером кальдерного извержения. Выделяющийся флюид значительно расширяется, создавая избыточное давление на кровлю очага. Это, в свою очередь, может привести к нарушению ее сплошности, лавинообразной декомпрессионной дегазации, фрагментации магмы и стремительному истечению из жерла и кольцевых трещин ее гигантских объемов в виде флюидизированной суспензии магматического расплава, кристаллов и обломков вмещающих пород.

Заключение

Кальдерообразующие извержения, даже сравнительно небольших объемов, оказывают заметное воздействие на окружающую среду в региональном и глобальном масштабах: пирокластические потоки и плининские пеплопады ближней зоны приводят к полной перестройке существующих экосистем, вызывая гибель флоры и фауны. Вулканические пеплы и аэрозоли, поступающие в стратосферу, на протяжении нескольких лет оказывают влияние на климат, вызывая снижение среднегодовых температур (эффект вулканической зимы).

Мощные эксплозивные извержения с образованием кальдер диаметром 3-15 км и выбросом нескольких десятков кубических километров пирокластического материала были характерны для всей БКГ в конце неоплейстоцена и начале голоцена и сосредоточены были в ее средней и южной частях. Для некоторых из этих вулканов мощные эксплозивные извержения были характерны даже в позднем голоцене, что указывает на необходимость мониторинга их активности и в настоящее время.

Полученные в последнее время данные о петрологии продуктов кальдерных извержений позволяют утверждать, что эти извержения были связаны с возникновением и развитием в верхних горизонтах земной коры (3-12 км) крупных очагов кислых магм, преимущественно дацитового состава, близких по составу к интрузивным М-гранитам и насыщенным флюидом углекислотно-водного состава. Их образование, вероятнее всего, было связано с частичным плавлением метабазитовых верхнекоровых субстратов при температурах, не превышающих 930 °С.

Список литературы

1. *Базанова Л.И., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В.* Вулканические катастрофы позднего плейстоцена-голоцена на Камчатке и Курильских островах. Часть 1. Типы и классы катастрофических извержений-главных компонентов вулканического катастрофизма // Вулканология и сейсмология. 2016. № 3. С. 3-21.
2. *Авдейко Г.П., Антонов А.Ю., Волынец О.Н. и др.* Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги. Москва: Наука, 1992. 528 с.
3. Новейший и современный вулканизм на территории России / Отв. ред. Н.П. Лаверов. Москва: Наука, 2005. 604 с.
4. *Ермаков В.А., Штейнберг Г.С.* Вулкан Кудрявый и эволюция кальдеры Медвежья (о. Итуруп, Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 1999. № 3. С. 19-40.
5. *Бергаль-Кувикас О.В., Смирнов С.З., Агатова А.Р. и др.* Голоценовое эксплозивное извержение на перешейке Ветровой (о. Итуруп) как источник маркирующего горизонта тефры (~2000 лет назад) в центральной части Курильской островной дуги // Доклады Академии наук. Науки о Земле. 2023. Т. 511. № 1. С. 46-54. <https://doi.org/10.31857/S2686739723600601>
6. *Смирнов С.З., Котов А.А., Бергаль-Кувикас О.В. и др.* Неоплейстоцен-голоценовый эксплозивный кальдерный вулканизм Большой Курильской гряды // Геология и геофизика. 2025. <http://doi.org/10.15372/GiG2025102>
7. *Smirnov S.Z., Rybin A.V., Kruk N.N. et al.* Parental melts and magma storage of a large-volume dacite eruption at Vetrovoy Isthmus (Iturup Island, Southern Kuril Islands): Insights into the genesis of subduction-zone dacites // Journal of Petrology. 2019. V. 60. № 7. P. 1349-1370, <https://doi.org/10.1093/petrology/egz032>
8. *Kotov A., Smirnov S., Nizametdinov I. et al.* Partial melting under shallow-crustal conditions: a study of the Pleistocene caldera eruption of Mendeleev Volcano, Southern Kuril Island Arc // Journal of Petrology. 2023. V. 64. № 6. Art. egad033. <https://doi.org/10.1093/petrology/egad033>