

Комплексная реконструкция голоценовой эволюции магматической системы Авачинской группы вулканов

Крашенинников С.П.¹, Портнягин М.В.², Биндеман И.Н.³, Пономарева В.В.⁴, Миронов Н.Л.¹, Базанова Л.И.⁴

Comprehensive reconstruction of the Holocene evolution of the magmatic system of the Avacha group of volcanoes

Krashennnikov S.P., Portnyagin M.V., Bindeman I.N., Ponomareva V.V., Mironov N.L., Bazanova L.I.

¹ *Институт геохимии и аналитической химии РАН, г. Москва;*

e-mail: krashennnikov@geokhi.ru

² *GEOMAR Helmholtz Center for Ocean Research Kiel, Kiel, Germany*

³ *University of Oregon, Eugene, OR, USA*

⁴ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский*

Данные о составах тефр и расплавных включений, а также об изотопии кислорода Авачинской группы вулканов указывают на отсутствие коровой контаминации, доминирующим процессом является кристаллизационная дифференциация.

Авачинская группа вулканов

Благодаря непосредственной близости от мест проживания населения и своей постоянной вулканической активности, Авачинская группа вулканов является важнейшим объектом для всесторонних научно-прикладных исследований, в том числе связанных с проведением мониторинговых и прогнозных исследований.

В данной работе представлены результаты детального изучения продуктов эруптивной активности вулканов Авачинский и Корякский в голоцене. В дополнение к опубликованным анализам валовых составов пирокластических отложений и матричных стекол основных масс [4], проведен комплексный анализ составов стекловатых природно-закаленных расплавных включений в разных минеральных фазах и получены данные об эволюции изотопного состава кислорода.

Методы исследований

Составы петрогенных и летучих элементов стекол основных масс и расплавных включений проанализированы методом электронного микрозонда на приборе JEOL JXA 8200 (GEOMAR, Kiel) с использованием опубликованной методики [4, 5]. Аналитические условия, применяемые в ходе анализа, соответствуют 15 кВ ускоряющего напряжения и низкого тока 6 нА, подаваемых на поверхность образца пучком электронов диаметром 5 мкм. Детальное описание методики, применяемые процедуры стандартизации и условия анализа элементов описаны в [5].

Анализ изотопии кислорода мономинеральной фракции плагиоклаза и оливина методом лазерного фторирования с использованием мульти-коллекторного масс-спектрометра Finnigan MAT 253 проведен в лаборатории стабильных изотопов (University of Oregon, США) [1].

Эруптивная активность Авачинской группы вулканов в голоцене

В рамках данной работы представлены результаты изучения продуктов эксплозивных извержений, слагающих мощный почвенно-пирокластический чехол на подножье вулканических построек (рисунок). В результате тефрохронологических исследований и геохимического изучения пирокластике было выявлено более 150 извержений Авачинского и около 60 извержений Корякского вулканов. Козельский вулкан представлен отложениями единичных извержений, произошедших в раннеголоценовое время, образующими два прослоя в самом низу голоценового почвенно-пирокластического разреза [4].

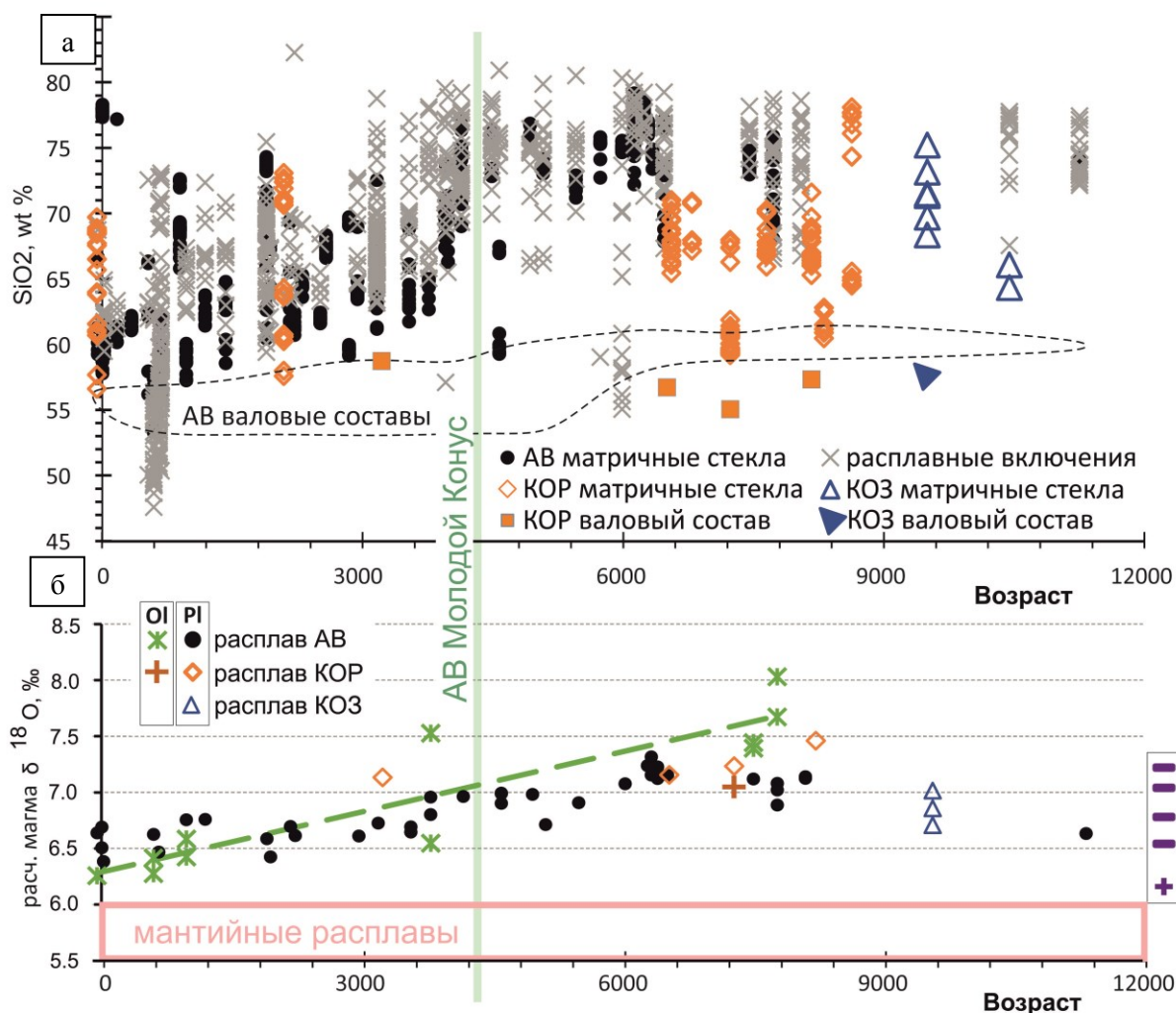


Рисунок. Голоценовая летопись вариаций содержаний SiO₂ в валовых составах тефр, составах матричных стекол и расплавных включений Авачинского (АВ), Корякского (КОР) и Козельского (КОЗ) вулканов (а) и расчетного изотопного состава кислорода магмы (δ¹⁸O) датированных тефр (б). Жирная вертикальная граница отмечает момент перехода от андезитовой стадии к современным андезибазальтам и формирование Молодого конуса Авачинского вулкана. Зеленая пунктирная линия иллюстрирует снижение δ¹⁸O магм, рассчитанных из составов оливинов. Справа внизу (б) отмечены оценки изотопного состава магм Авачинского (–) и Корякского (+) вулканов [2].

Раннеголоценовая эруптивная активность Авачинского вулкана представлена андезитовой пирокластикой, которая после начала формирования Молодого конуса, 3800 лет назад, сменилась преимущественно андезибазальтами [3]. Среди минеральных фаз тефр преобладают плагиоклаз и пироксены, в редких отложениях встречаются вкрапленники оливинов. Амфибол часто обнаруживается в породах андезитового раннего этапа активности.

Эволюция состава расплавов

Составы стекол основных масс и расплавных включений в минералах из тефр Авачинского и Корякского вулканов демонстрируют широкий петрохимический спектр – от редких базальтов до риолитов, однако их эволюция и геохимические особенности существенно различаются. Для Авачинского вулкана отчетливо выделяются две стадии развития: на раннем этапе (8-3.8 тыс. лет назад) преобладали низко- и среднекальциевые риолитовые составы стекол основных масс (70-78 мас. % SiO₂) андезитовых тефр. Современная стадия (с 3.8 тыс. лет назад) характеризуется среднекальциевыми

андезибазальтами, стекла которых часто имеют андезитовый или дацитовый состав, а редкие риолитовые стекла отличаются от древних повышенными концентрациями K_2O и Cl . Отчетливо прослеживается постепенное снижение содержаний кремнезема в составах как стекол расплавных включений, так и основных масс, начиная от момента начала второй стадии активности до современных вулканитов. В свою очередь, стекла Корякского вулкана представлены более высококалийевыми расплавами: при содержании SiO_2 от 58 до 79 мас. % его составы относятся к верхней границе среднекалийевой серии, а в некоторых случаях переходят в высококалийевые разности (до 5.4 мас. % K_2O).

Изотопный состав кислорода

Наиболее представительные данные об изменении изотопии кислорода получены по составам плагиоклазов, которые встречаются практически в каждом образце, вне зависимости от возраста. Состав мономинеральной фракции оливина и плагиоклаза из пирокластических пород Авачинского вулкана находятся в изотопном равновесии и свидетельствуют о согласованном изменении $\delta^{18}O$ с возрастом. Оливины имеют состав, близкий мантийному (5.2-5.8 ‰), а плагиоклазы из тех же пород характеризуются более тяжелым составом (6.2-7.2 ‰). Максимальные значения (7.2 ‰) отмечаются в плагиоклазах тефр андезитового этапа с возрастом около 6.3 тыс. лет.

Минералы из тефр Корякского вулкана характеризуются более высокими содержаниями тяжелого изотопа кислорода (7-7.4 ‰). Плагиоклазы Козельского вулкана и конуса Медвежка имеют близкие изотопные метки с теми, которые характерны для раннеголоценовых извержений Авачинского вулкана.

Расчетный изотопный состав магм вулканов Авачинской группы, скорректированный на валовые содержания SiO_2 в тефрах, относится к типичной для вулканов Камчатки области составов, обогащенных ^{18}O [5]. Эволюция изотопного состава кислорода согласуется с данными о составах тефр и говорит о постепенном переходе к более основным составам вулканитов.

Выводы

Геохимические данные о содержаниях петрогенных и летучих элементов в составах пород и расплавных включений, изотопный состав кислорода голоценовых извержений вулканов Авачинской группы, свидетельствуют об отсутствии явных признаков взаимодействия расплавов с коровым веществом и отношении исходных магм к расплавам с повышенной $\delta^{18}O$ изотопной меткой относительно мантийных значений. Процессы кристаллизационной дифференциации являются доминирующими в определении геохимических характеристик расплавов Авачинской группы. Критическая смена активности Авачинского вулкана, послужившая причиной формирования Молодого конуса, скорее всего, вызвана поступлением примитивного материала из глубинного очага, который оказывает влияние на состав вулканитов и постепенное снижение содержаний кремнезема и тяжелого изотопа кислорода.

Работа выполнена в рамках «Межведомственной программы комплексных научных исследований Камчатского полуострова и сопредельных акваторий в 2024-2026 гг.» государственного задания Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН по теме НИР № FWME-2024-0015 «Изучение механизмов извержения Авачинского вулкана и создание методик оценки вулканической опасности».

Список литературы

1. Bindeman I. Oxygen isotopes in mantle and crustal magmas as revealed by single crystal analysis // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 2008. V. 69. Is. 1. P. 445-478. <https://doi.org/10.2138/rmg.2008.69.12>

2. Bindeman I.N., Ponomareva V.V., Bailey J.C., Valley J.W. Volcanic arc of Kamchatka: a province with high- $\delta^{18}\text{O}$ magma sources and large-scale $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ depletion of the upper crust. // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2004. V. 68. Is. 4. P. 841-865. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2003.07.009>
3. Braitseva O.A., Bazanova L.I., Melekestsev I.V., Sulerzhitskiy L.D. Large Holocene eruptions of Avacha volcano, Kamchatka (7250-3700 14C years BP) // *Volcanology and Seismology*. 1998. V. 20. Is. 1. P. 1-27.
4. Krashennnikov S.P., Bazanova L.I., Ponomareva V.V. et al. Detailed tephrochronology and composition of major Holocene eruptions from Avachinsky, Kozelsky, and Koryaksky volcanoes in Kamchatka // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2020. V. 408. Art. 107088. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.107088>
5. Portnyagin M.V., Ponomareva V.V., Zelenin E.A. et al. TephraKam: geochemical database of glass compositions in tephra and welded tuffs from the Kamchatka volcanic arc (northwestern Pacific) // *Earth System Science Data*. 2020. V. 12. Is. 1. P. 469-486. <https://doi.org/10.5194/essd-12-469-2020>