

УДК 551.21

Паужетская кальдера (Южная Камчатка): геохимические исследования игнимбригов и тефры дали возможность оценить магнитуду и возраст кальдерообразующего извержения

В.В. Пономарева¹, М.В. Портнягин^{2,3},
Н.В. Бубенщикова⁴, Е.А. Зеленин⁵, А.Д. Деркачев⁶

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,

Петропавловск-Камчатский, Россия ponomareva@kscnet.ru

²GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research, Киль,
Германия

³Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.
Вернадского РАН, Россия

⁴Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва,
Россия

⁵Геологический институт РАН, Москва, Россия

⁶Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.
Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия

Ключевые слова: тефра, Камчатка, Паужетка, микрозонд,
LA-ICP-MS.

Сильное эксплозивное извержение – это самое экстремальное из вулканических явлений. Продукты такого извержения представлены в основном тефрой, которая может разноситься на расстояния многих тысяч километров. Поскольку для подавляющего большинства прошлых извержений тефра дальнего разнеса пока не установлена, оценка объема их продуктов проводится лишь на основе картирования проксимальных отложений, что приводит к серьезной недооценке масштаба этих извержений. В полной мере это относится к Камчатке, где летопись доголоценовых эксплозивных извержений содержит лишь пару десятков датированных событий, объемы продуктов и магнитуды которых неизвестны. Мы представляем новые данные о магнитуде и возрасте извержения, приведшего к образованию грандиозной (27×18 км) Паужетской кальдеры на юге Камчатки. Эти оценки удалось получить на основе геохимической характеристики проксимальных игнимбригов и корреляции их с широко распространенной тефрой, найденной в осадках прилегающих к Камчатке акваторий.

В процессе работ по проекту РНФ «Масштаб и периодичность катастрофических эксплозивных извержений в островодужных системах Северной Пацифики» мы проанализировали с помощью электронного микрозонда (EMP) вулканическое стекло из всех

прослоев тефры, вскрытых пятью морскими колонками в северо-западной части Тихого океана и в Охотском море (Рис. 1).

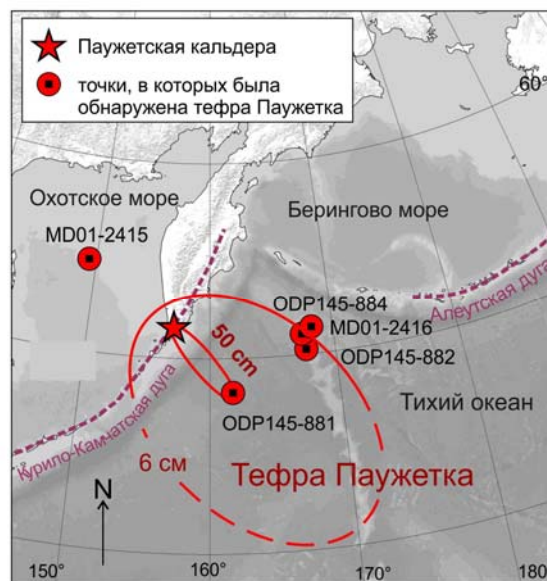


Рис. 1 – Распространение тефры Паужетка.

Широко распространенный горизонт тефры с возрастом ~450 тыс. лет (грубая оценка по Morley et al., 1995) был установлен нами во всех кервах к юго-востоку от Камчатки, а в колонке MD01-2415 в Охотском море была обнаружена идентичная по составу криптотефра (Bubenshchikova et al., 2015). Стекло во всех образцах этой тефры имеет умеренно-калиевый риолитовый состав (Рис. 2а) и характеризуется островодужным характером распределения микроэлементов с выраженным минимумом Eu и преобладанием легких редкоземельных элементов над средними и тяжелыми (Рис. 2б). Судя по тому, что максимальная мощность тефры (50 см) обнаружена в колонке 881, мы полагаем, что ось пеплопада прошла в юго-восточном направлении, а криптотефра в Охотском море образовалась в результате переотложения вынесенного в море реками свежего пирокластического материала. Характер площадного распространения тефры и ее возраст позволил предположить, что она связана с Паужетской кальдерой, для игнимбригов которой был ранее получен Ag/Ar возраст 448±20 тыс. лет (Bindeman et al., 2010). К сожалению, это предположение не удавалось подтвердить, поскольку игнимбриги сильно изменены и не содержат свежего стекла, состав которого можно было бы напрямую сравнить с составом стекла из удаленной тефры. М.В. Портнягиним была разработана новая методика анализа микроэлементов методом LA-ICP-MS на основе нормализации состава к 100%, что

сделало возможным анализ дефитрифицированного стекла измененных туфов без необходимости внешней стандартизации на основе данных EMP. Расширение числа анализируемых элементов до 41 по сравнению с 10, обычно анализируемых EMP, позволило расширить возможности геохимической типизации и сравнения со стеклом в удаленных пеплах. Особенно

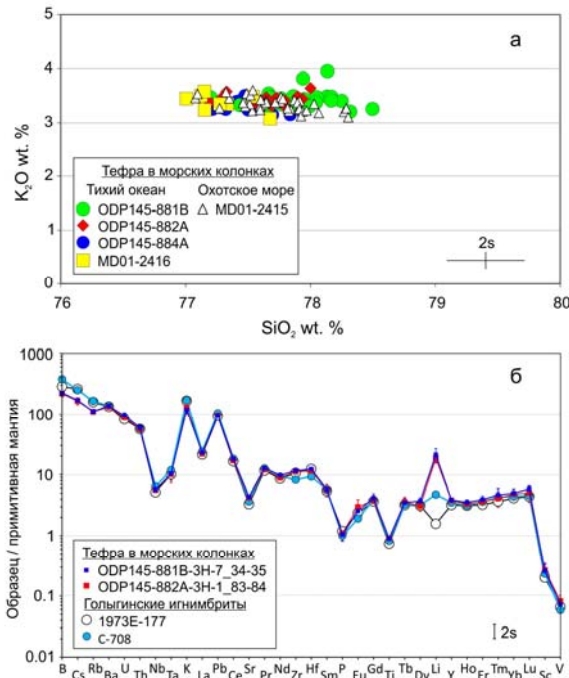


Рис. 2 – Состав продуктов кальдерообразующего извержения: а) стекло из тефры в различных колонках (EMP); б) игнимбриты и стекло из тефры (LA-ICP-MS)

эффективным оказалось использование микроэлементов, которые характеризуются слабой подвижностью при низкотемпературных изменениях пород, и позволяют напрямую сравнивать составы дефитрифицированного стекла в игнимбрите и стекла в тефре. Элементы В, As, К, Cs, Ва, U, Sr, Eu, Li в основной массе игнимбрита сильно варьируют (до порядка величины) и следовательно характеризуются подвижностью при вторичном изменении. Другие микроэлементы (Th, Nb, Та, Zr, Hf, PЗЭ, Y, Sc) показывают вариации в пределах всего 10-20%, что характеризует эти элементы как консервативные при вторичном изменении и позволяет предположить, что они характеризуют исходный состав стекла туфа. Содержание стабильных элементов в измененной основной массе игнимбритов оказалось практически идентичным измеренному в стекле из тефры, что наряду с близким возрастом образцов позволило связать эту тефру с кальдерообразующим извержением. Средние содержания большинства подвижных элементов в игнимбрите также

близки их содержаниям в стекле. Объяснением этого факта может быть перераспределение этих микроэлементов между различными фазами при дефитрификации стекла (плагиоклаз, микроклин, магнетит, кварц) при сохранении неизменного валового состава. Однако, большая дисперсия концентраций этих элементов значительно снижает надежность их использования для геохимической корреляции образцов. Содержания лития в стекле значительно выше, чем в игнимбрите, что, вероятно, отражает летучесть этого элемента или существенный вынос из игнимбрита при вторичном изменении.

Изучение стратиграфического положения тефры во всех кернах с запечатленными в них же палеоклиматическими изменениями позволило установить, что время извержения приходится на позднюю стадию Терминации V – переходного периода от ледниковых условий морской изотопно-кислородной стадии (МИС) 12 к межледниковью МИС11с. Сопоставление детально разработанных возрастных моделей для разных колонок позволило оценить возраст извержения в ~420 тыс. лет. Некоторое расхождение полученной оценки возраста с Ag/Ag датировками может быть связано как с неточностью референсных возрастных моделей осадков для этого интервала, так и с погрешностью Ag/Ag датирования.

Наши результаты позволяют оценить объем Паужетской тефры как минимум в 200 км³, что увеличивает прежнюю оценку общего объема изверженных продуктов 200-300 км³ (Bindeman et al., 2010) до 330-360 км³. Массу изверженных продуктов можно оценить в 3,8 – 4,4×10¹⁴ кг, а магнитуду извержения – в 7,60–7,65.

Список литературы

- Bindeman, I.N., Leonov, V.L., Izbekov, P.E. et al. (2010) Large-volume silicic volcanism in Kamchatka: Ar–Ar and U–Pb ages, isotopic, and geochemical characteristics of major pre-Holocene caldera-forming eruptions. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 189, 57-80. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2009.10.009.
- Bubenshchikova, N., Nürnberg, D., Tiedemann, R. (2015) Variations of Okhotsk Sea oxygen minimum zone: Comparison of foraminiferal and sedimentological records for latest MIS 12–11c and latest MIS 2–1. *Marine Micropaleontology* 121, 52-69. DOI:10.1016/j.marmicro.2015.09.004.
- Morley, J.J., Tiase, V.L., Ashby, M.M., et al. (1995) A high-resolution stratigraphy for Pleistocene sediments from North Pacific Sites 881, 883, and 887 based on abundance variations of the radiolarian *Cycladophora davisiana*. In Rea et al. (Eds.), *Proc. ODP, Sci. Results*, 145: College Station, TX (ODP), 133–140. DOI:10.2973/odp.proc.sr.145.108.1995