

**Раннеголоценовые тефры кальдеры Заварицкого (о. Симушир) – новые пеплы-маркеры СЗ Пацифики.**

**О.В. Дирксен<sup>1</sup>, А.В. Рыбин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: [dirksen@kscnet.ru](mailto:dirksen@kscnet.ru)*

<sup>2</sup>*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск*

Несмотря на значительный прогресс в изучении голоценового вулканизма как Камчатки, так и Курильских островов, вулканы острова Симушир до сих пор остаются одними из наименее изученных эруптивных центров СЗ Пацифики. Проведенные нами детальные тефростратиграфические исследования на острове Симушир позволили получить первые представления об эруптивной активности самого крупного вулканического массива острова – кальдеры Заварицкого – за последние 10000 лет.

На острове Симушир располагается четыре крупных вулканических центра: вулкан Мильна с побочным центром Горящая Сопка, кальдера Заварицкого, вулкан Пик Прево и кальдера Броутона с вулканом Уратман. Вулканическая активность за последние 100 лет фиксировалась только для первых трех центров, однако о более ранних извержениях вулканов о. Симушир практически ничего не было известно.

В работе [4] описано несколько разрезов голоценовых почвенно-пирокластических чехлов (ППЧ) на острове, в которых вскрываются многочисленные пеплы местных вулканов, свидетельствуя об их интенсивной эксплозивной активности. Однако ограниченное количество разрезов на острове, рассеянных по всей его территории, не позволило авторам реконструировать эруптивную историю хотя бы одного из вулканов.

Наши тефрохронологические исследования проводились в центральной и северной частях острова и охватывали территорию от кальдеры Заварицкого до кальдеры Броутона. Всего на этом участке было описано более 20 разрезов ППЧ, отобрано более 150 образцов пеплов. В дальнейшем для изучения вещественного состава эруптивных продуктов для 70 образцов тефры был проведен микронзондовый анализ составов вулканических стекол. Состав стекол определялся на приборе JEOL JSM-6480 с аналитической ЭДС приставкой Oxford X-MaxN (МГУ им. М.В. Ломоносова, Геологический факультет, кафедра петрологии).

В наиболее полных разрезах ППЧ, расположенных на северных внешних склонах кальдеры, нами было обнаружено более 80 горизонтов пеплов, связанных с извержениями в кальдере Заварицкого за последние 10 тыс. лет. При этом нами не было обнаружено никаких признаков длительного перерыва между извержениями: мощности межпепловых гумусированных супесей составляют в среднем 2-3 см, лишь в одном случае достигая 5 см. Это свидетельствует об исключительно высокой интенсивности вулканической активности этого эруптивного центра, частота извержений составляет около 1 события в 100 лет.

подавляющее большинство погребенных пеплов представляют собой горизонты пористых, хрупких шлаков серого и темно-серого цвета. Мощность горизонтов колеблется от 2 до 25 см, за исключением тефры последнего крупного извержения, мощность которой в отдельных разрезах достигает 60 см. Содержание SiO<sub>2</sub> в вулканических стеклах этих шлаков колеблется от 55 до 67 вес. %, K<sub>2</sub>O – от 0.36 до 0.9 вес. %. (рис. 1). Из общей массы шлаков по щелочности отчетливо выделяются несколько маломощных горизонтов, соответствующих извержениям вулкана Пик Прево: содержание K<sub>2</sub>O в них, при схожей кремнекислотности, выше на 0.3-0.5 вес. %.

В нижней части разреза т.н. 201118 описаны два горизонта, визуально резко отличающиеся от всех остальных прослоев. В урезе ручья вскрываются отложения

пирокластического потока, представленные горизонтом пемзового туфа, мощностью более 1 метра. Этот же туф был описан в разрезах к северу от кальдеры, где его полная мощность достигала от 3 до 5 м. Также этот туф описан и к югу от кальдеры [4]: на северной оконечности перешейка Косточко его вскрытая мощность составляет около 1 м, в центральной части перешейка вскрытая мощность достигает 3 м, при этом подошва не вскрывается.

В двух разрезах, непосредственно под пемзовым туфом, описана пачка тефры этого извержения. На южном подножии вулкана Пик Прево ее мощность составляет 50 см, в обнажениях бухты Накотомари она достигает 80 см. Далее на север туфы выклиниваются, однако тефра продолжает уверенно следовать вплоть до кальдеры Броутона, где ее мощность составляет 20 см.

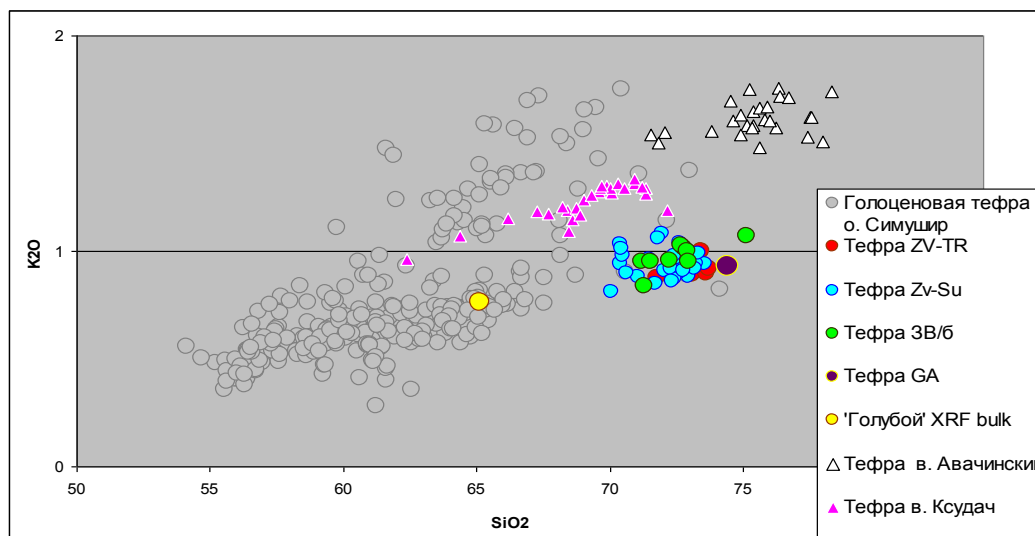


Рис. 1. Состав вулканического стекла тефры ЗВ/б и коррелятных ему пеплов

Стекла пирокластики извержения (и тефры, и туфа), получившей индекс ЗВ/б, представляют собой наиболее кислые и щелочные разности пород, извергавшихся из кальдеры Заварицкого в голоцене. Содержание  $\text{SiO}_2$  составляет 71-73 вес. %, при этом содержание  $\text{K}_2\text{O}$  исключительно низкое – от 0.9 до 1.0 вес. %. (рис. 1). К сожалению, нам не удалось определить возраст этого извержения непосредственно по нашим данным, полученным в результате полевых работ.

Над пирокластикой ЗВ/б, через небольшой промежуток, залегает еще один горизонт тефры, также отчетливо отличающийся от вышележащих горизонтов шлаков. Общий цвет горизонта – коричневатый и серовато-желтый. Горизонт довольно хорошо сортирован и слабо стратифицирован по крупности. Нижние 20 см сложены главным образом гравием пемзы, средний размер которой составляет 0.5-1.0 см, максимальный – до 4 см. Пемза пористая, на изломе желтая. Выше, с нечеткой границей, лежит прослой желтовато-серого цвета, сложенный мелким гравием более плотной пемзы, крупность обломков здесь составляет в среднем 0.2-0.3 см. В верхних 40 см крупность пемзы возрастает до 0.5-1.5 см, максимальный размер обломков – 6 см. Цвет пемзы в этом прослое меняется от желтого до серого, в изобилии встречаются полосчатые разности. Общая мощность тефры в т.н. 201118 составляет около 70 см. Содержание  $\text{SiO}_2$  в стекле меняется в диапазоне от 65 до 67 вес. %, содержание  $\text{K}_2\text{O}$  также очень низкое: от 0.7 до 0.8 вес. % (рис. 1). Этот горизонт пирокластики (получивший условный индекс ЗВ/ж), прослеживается только вблизи кальдеры, быстро выклиниваясь на север. В то же время, он не был обнаружен ни в одном из разрезов южнее кальдеры.

Отличительные особенности горизонтов тефры ЗВ/ж и ЗВ/б и специфические геохимические характеристики позволили уверенно скоррелировать эти горизонты со слоями пеплов, описанными другими авторами в разрезах Центральных и Северных Курил [4], а также в морских колонках [1].

Наиболее характерной особенностью пеплов этого центра является исключительно низкое содержание  $K_2O$  в вулканическом стекле, отличающее тефры кальдеры Заварицкого от тефр всех изученных вулканов Камчатки и Курильских островов. Так, для дацитовых и риодацитовых стекол пеплов ЗВ/ж и ЗВ/б содержание  $K_2O$  составляет 0.7-1.0 вес. %, тогда как для низкокалиевой пирокластики других вулканов оно ощутимо больше (для  $KC_2$ , при 68-70 вес. %  $SiO_2$ , содержание  $K_2O$  1.1-1.4 вес. %, для пеплов Авачинского вулкана, при том же содержании  $SiO_2$ , значения  $K_2O$  составляют 1.3-1.5 вес. %). К идентификационным признакам тефры кальдеры Заварицкого также можно отнести особенности минералогического состава: присутствие орто- и клинопироксена при отсутствии амфибола [4].

Тефра ЗВ/б отсутствует на островах южнее о. Симушир, однако она уверенно прослеживается на всех островах к северу от о. Симушир (тефра ZV-SU в [4]), при этом ее мощность и крупность закономерно уменьшается от 10-15 см на о. Расшуа до 4-5 см на о. Онекотан (рис. 2). В разрезах о. Онекотан был установлен важный факт: тефра ЗВ/б лежит ниже тефры КО, связанной с извержением кальдеры Курильского озера на Камчатке, т.е. возраст ЗВ/б более 7600  $^{14}C$  лет. Далее на север, на о. Парамушир [2], в низах нескольких разрезов, под тефрой КО, описана тефра GA, имеющая весьма необычные для пеплов этого острова характеристики: состав минеральной фазы –  $Pl + Cpx + Opx + Mt$ , химический состав стекла – очень низкокалиевый риолит (0.8-1.1 вес. %  $K_2O$  при 73-75 вес. %  $SiO_2$ ). Эти характеристики не соответствовали ни одному из известных к тому моменту пеплов Камчатки или Курильских островов, поэтому тефра осталась неидентифицированной. Сопоставив эти характеристики с результатами наших работ, мы считаем, что тефра GA соответствует тефре ЗВ/б. Непосредственно под тефрой GA получена радиоуглеродная датировка, позволяющая установить возраст этого пепла:  $8540 \pm 40$   $^{14}C$  л.н. Возраст тефры ЗВ/б, таким образом, составляет около 8500  $^{14}C$  лет.

Определить ареал распространения тефры ЗВ/б помогли исследования А.Н. Деркачева с соавторами. В работе [1], в пяти колонках морских отложений, отобранных в 180-250 км северо-западнее о. Симушир, была описана тефра, чьи характеристики идентичны тефре ЗВ/ж. И, хотя мощность слоя не указана, точки расположения скважин позволили оконтурить ареал распространения тефры ЗВ/б. При самых консервативных оценках, площадь изопакиты 1 см составляет около 320 тыс.  $km^2$ . Следуя методике, изложенной в [3], объем тефры в первом приближении может быть оценен в  $12 km^3$ .

Ревизия опубликованных тефрохронологических данных по Южной Камчатке позволила выявить горизонт пепла, который также может быть тефрой ЗВ/б. В трех разрезах у пос. Апача и в районе Начикинского озера, под тефрой КО, описан пепел «Голубой», имеющий весьма характерные особенности. Согласно приведенным в работе результатам рентгенофлюоресцентного анализа, валовый состав пепла соответствует очень низкокалиевым дацитам (0.76 вес. %  $K_2O$  при 65.13 вес. %  $SiO_2$ ). В близких по щелочности раннеголоценовых пеплах вулканов Авачинский и Ксудач, при схожих содержаниях  $SiO_2$  (63.2-64.4 вес. %), содержание  $K_2O$  составляет 1.0-1.1 вес. %. Мы полагаем, что этот горизонт является тефрой ЗВ/б. Если наше предположение подтвердится, то это будет означать, что тефра ЗВ/б покрывала значительную часть территории Южной и Западной Камчатки. Минимальная площадь изопакиты 1 см, в этом случае, составит около 535 тыс.  $km^2$ , а объем тефры –  $20.3 km^3$ . С учетом материала пирокластических потоков, минимальный объем извергнутой пирокластики составит около  $20.5 km^3$ , а вес около  $30 \cdot 10^9$  т, что ставит это извержение в ряд крупнейших на Курильских островах за последние 10 тыс. лет. Для проверки нашего предположения в ближайшее время будет определен состав вулканического стекла пепла «Голубой», в также других раннеголоценовых пеплов Южной Камчатки.

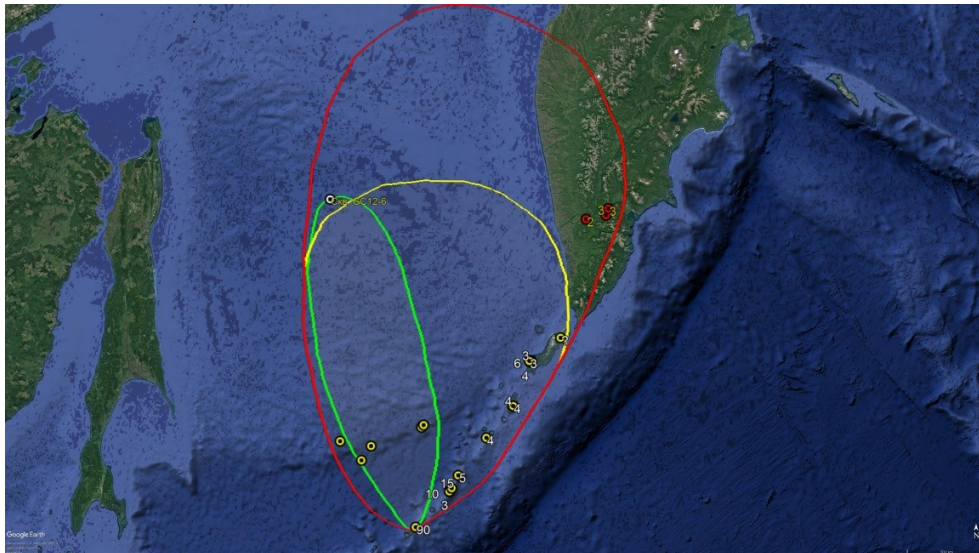


Рис. 2. Ареалы распространения тефры 3В/б и 3В/ж. Зеленым цветом показана зона пеплопада тефры 3В/ж, желтым – тефры 3В/б, без учета камчатских разрезов, красным – вероятный ареал распространения тефры 3В/б с учетом разрезов на Камчатке.

Тефра 3В/ж была обнаружена в разрезах ППЧ к северу от кальдеры до бухты Водопадная, где ее мощность составляет 8 см. Более нигде в наземных разрезах она не была обнаружена (рис. 2). Это свидетельствует о том, что ось пеплопада была направлена на ССЗ от кальдеры, и большая часть тефры выпала в Охотское море, что существенно затрудняет подсчет объемов извергнутой пироклаستيку. Однако, в работе [1] описана тефра (тефра N) с идентичными характеристиками, обнаруженная в колонке морских отложений в центральной части Охотского моря, на расстоянии более 700 км от кальдеры Заварицкого. Принимая место расположения скважины в качестве наиболее удаленной точки ареала распространения тефры 3В/ж, ее объем, по [3], может быть оценен в  $4.7 \text{ км}^3$ . Непосредственно под этой тефрой, на западном побережье о. Симушир, получена радиоуглеродная датировка  $6820 \pm 20$ , соответственно возраст тефры 3В/ж составляет около  $6800 \text{ }^{14}\text{C}$  лет.

### Заключение

В результате проведенных исследований были выявлены крупнейшие извержения кальдеры Заварицкого в голоцене, определен химический состав стекол тефры, определен ареал их распространения и рассчитаны объемы изверженных продуктов. Наиболее мощным было извержение  $8500 \text{ }^{14}\text{C}$  л.н. Объем извергнутой пироклаستيку составляет около  $20.5 \text{ км}^3$ . Тефра извержения, в виде видимого горизонта, прослеживается на расстояние более 1000 км, криптотефра может быть обнаружена на гораздо больших расстояниях, вплоть до западного побережья Северной Америки.

Работа была выполнена в рамках темы НИР № 0282-2018-0007.

### Список литературы

1. *Derkachev A.N., Nikolaeva N.A., Gorbarenko S.A. et al.* Tephra layers in the Quaternary deposits of the Sea of Okhotsk: Distribution, composition, age and volcanic sources // *Quaternary International*. 2016. V. 425. P. 248-272.
2. *Hasegawa T., Nakagawa M., Yoshimoto M. et al.* Tephrostratigraphy and petrological study of Chikurachki and Fuss volcanoes, western Paramushir Island, northern Kurile Islands: Evaluation of Holocene eruptive activity and temporal change of magma system // *Quaternary International*. 2011. V. 246. P. 278-297.
3. *Legros F.* Minimum volume of a tephra fallout deposit estimated from a single isopach // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2000. V. 96 (1–2). P. 25-32.
4. *Nakagawa M., Ishizuka Y., Hasegawa T. et al.* Preliminary Report on Volcanological Research of KBP 2007-08 Cruise by Japanese Volcanology group. Sapporo, Japan. 2008.