

Краткие сообщения

УДК 551.217+550.4(571.66)

<https://doi.org/10.31431/1816-5524-2024-4-64-80-85>

ПЕРВЫЕ НАХОДКИ ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ПЕПЛОВ АВАЧИНСКОГО ВУЛКАНА (ЮЖНАЯ КАМЧАТКА)

© 2024 О.В. Дирксен¹, Л.И. Базанова¹, В.В. Пономарева¹, М.В. Портнягин²,
Т.М. Философова¹, В.Г. Дирксен¹

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия, 683006

²GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel, Киль, Германия; email: oleg.dirksen@gmail.com

Поступила в редакцию 29.10.2024; после доработки 19.12.2024; принята в печать 25.12.2024

В карьере Николаевка-1 (53°05'17.45" с.ш., 158°21'26.28" в.д.), в озерных отложениях, сформированных около 100 тысяч лет назад, были обнаружены захороненные горизонты пеплов. Анализ состава вулканических стекол из этих пеплов позволил впервые идентифицировать три позднеплейстоценовых тефры Авачинского вулкана (21/23, 21/4 и 21/10). Кроме того, была обнаружена тефра DS7 одного из центров Карымского вулканического района, возрастом около 107 тысяч лет (тыс. лет). Стратиграфическое положение пеплов Авачинского вулкана относительно тефры DS7 позволяет утверждать, что тефра 21/10 образовалась чуть менее 100 тыс. л.н., тогда как две других (21/4 и 21/23) — старше 100 тыс. лет. Оценки минимальных объемов выброшенного во время этих извержений материала делает их сопоставимыми с большинством исторических эруптивных событий на этом вулкане, а извержение 21/4 — с наиболее мощным в XX в. извержением 1945 г.

Ключевые слова: Авачинский вулкан, тефра, поздний плейстоцен.

Долгосрочный прогноз вулканической опасности от извержений вулканов Камчатки и, в первую очередь, от извержений вулканов Авачинской группы, как наиболее близких к плотно населенным районам полуострова, — одна из важнейших, по нашему мнению, задач вулканологических исследований. Составление таких прогнозов основывается как на мониторинге современного состояния вулканов, так и на реконструкции их эруптивной активности в прошлом. Однако, в случае Авачинского вулкана, детально изучена лишь его голоценовая история (Krasheninnikov et al., 2020). Учитывая, что его возраст оценивается примерно в 50–60 тысяч лет (Брайцева и др., 1994), для составления достоверных прогнозов вулканической опасности необходимо привлекать дополнительные сведения об эруптивной деятельности вулкана в позднем плейстоцене.

В соответствии с этой задачей нами был изучен разрез позднеплейстоценовых отложений

в карьере Николаевка-1 (рис. 1а), где, в результате значительного расширения его площади благодаря интенсивной добыче песчано-гравийной смеси в последние годы, были вскрыты неизученные ранее отложения позднеплейстоценового возраста.

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ

Карьер Николаевка-1 расположен в 15 км западнее г. Петропавловск-Камчатский, восточнее автодороги Елизово–Паратунка в пределах холмисто-западинной равнины (рис. 1а), сложенной ледниковыми и водно-ледниковыми отложениями первой фазы позднеплейстоценового оледенения (Геологическая..., 2000) (рис. 1б). В стенках карьера вскрываются, главным образом, слабосцементированные, плохо сортированные, нестратифицированные грубообломочные отложения морены общей мощностью более 20 м. Местами встречаются

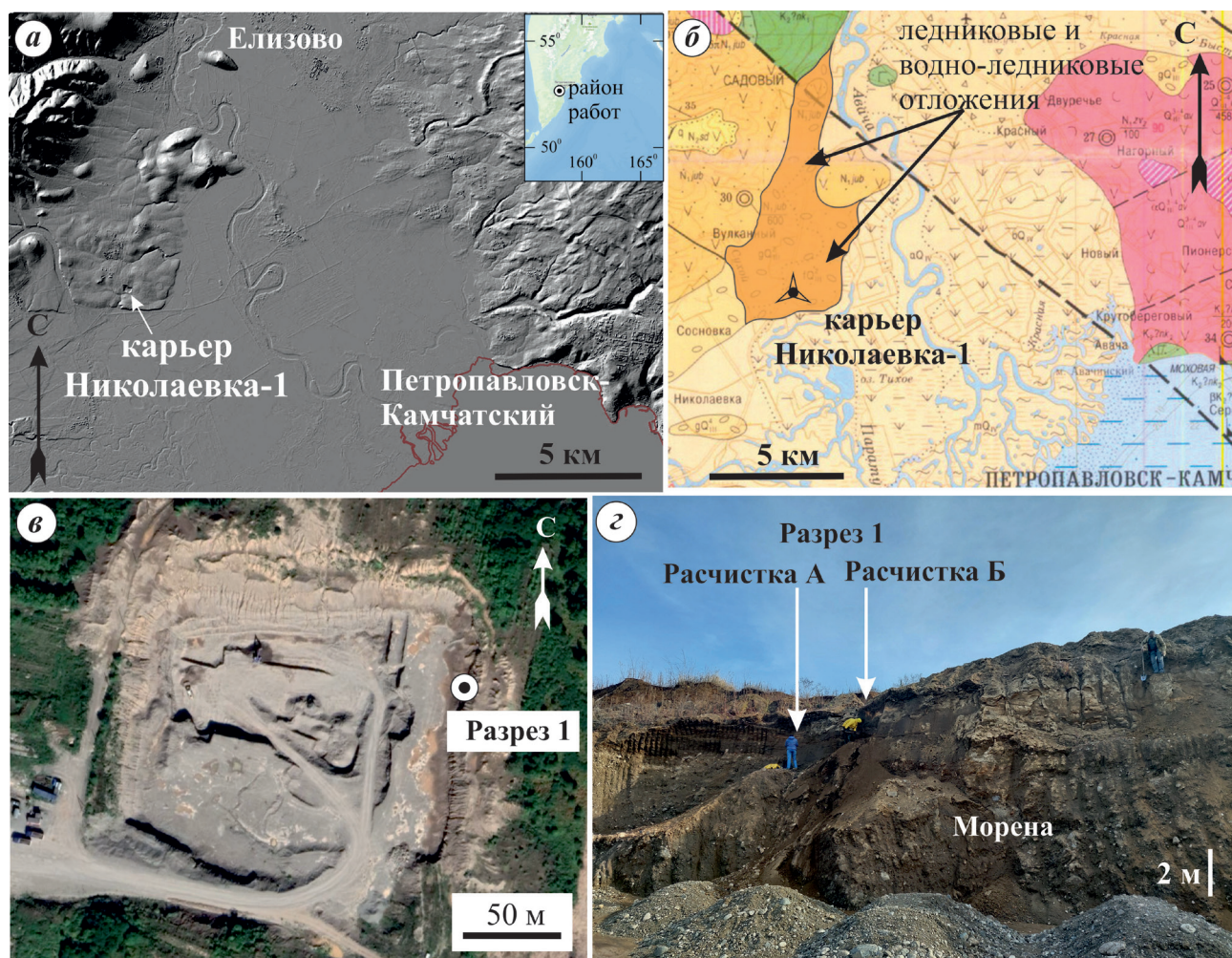


Рис. 1. Карьер Николаевка-1: *a* — на цифровой модели рельефа ArticDEM (на врезке показано положение района работ на п-ве Камчатка); *б* — на геологической карте масштаба 1:200000 (Геологическая..., 2000); *в* — общий вид карьера и положение изученного разреза; *з* — расчистки А и Б (фото Н.В. Горбач).

Fig. 1. Nikolaevka-1 quarry: *a* — on the ArticDEM digital elevation model (the inset shows position of study area in the Kamchatka peninsula); *б* — on the 1:200000 scale geological map (Geological..., 2000); *в* — general view of the quarry and position of the studied section; *з* — outcrops А and Б (photo by N.V. Gorbach).

линзы стратифицированных галечников, представляющие собой водные фации ледниковых образований. Верхняя граница этих отложений неровная с многочисленными западинами.

В одной из таких западин, в восточной стенке карьера (рис. 1*в*), сохранился фрагмент слоистого разреза позднеплейстоценовых озерных отложений, вмещающих многочисленные линзы и прослой пеплов. К сожалению, верхняя часть разреза уничтожена во время вскрышных работ и для изучения доступны лишь 5–6 м отложений, непосредственно перекрывающих морену. Разрез 1 в данном месте изучен в двух расчистках, расположенных в 3 м друг от друга по простиранию стенки карьера (рис. 1*з*). Для построения общей стратиграфической последовательности пеплов, последовательности пеплов в обеих расчистках были скоррелиро-

ваны по отчетливо прослеживаемым маркирующим пепловым горизонтам Т1 – Т4 (рис. 2).

Обнаруженные нами пеплы залегают в виде линз и деформированных прослоев, имеющих мощность от 0.5 до 30 см, лишь некоторые из них сохранились в виде четких горизонтов, которые, однако, быстро выклиниваются по простиранию (рис. 3).

Цвет пеплов меняется от светло-желтых, почти белых, до черных и темно-серых. Большинство пеплов являются мелко- и тонкозернистыми песками, и лишь несколько горизонтов представляют собой крупно- и грубозернистые пески и мелкий гравий. Именно эти горизонты привлекли наше внимание в первую очередь, поскольку сформировались, скорее всего, в результате крупных извержений ближайших вулканов, таких как Авачинский, Корякский, Вилючинский или Жупановский. В общей сложности

был описан 31 горизонт пеплов, большинство из которых опробованы для дальнейшего изучения. Определение состава вулканических стекол проводилось на электронном микронзонде JEOL JXA 8200 в Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel, GEOMAR, г. Киль, Германия.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На начальном этапе был определен состав стекол из 15 горизонтов тефры из разреза 1. Для четырех из них удалось установить вулканы-источники (рис. 3).

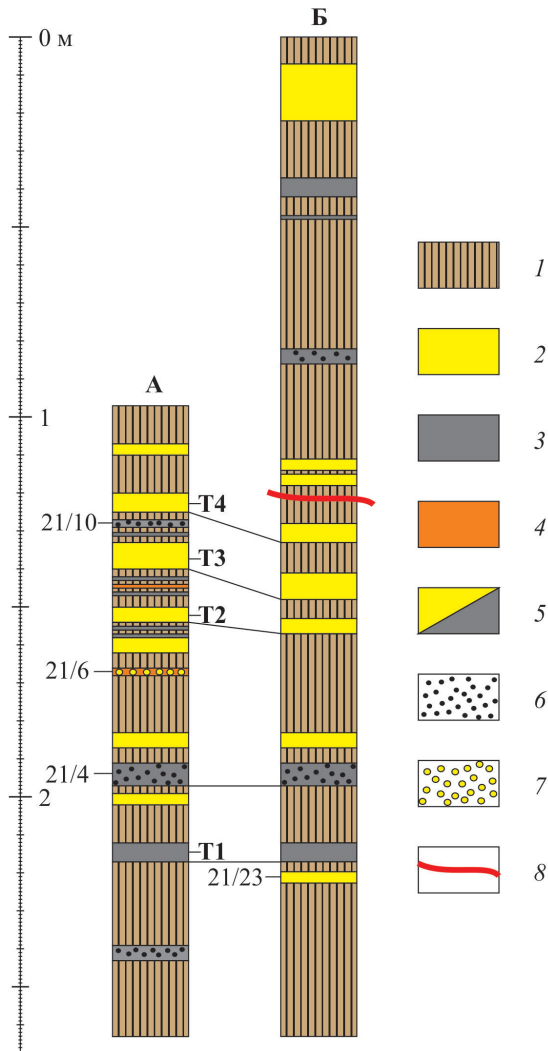
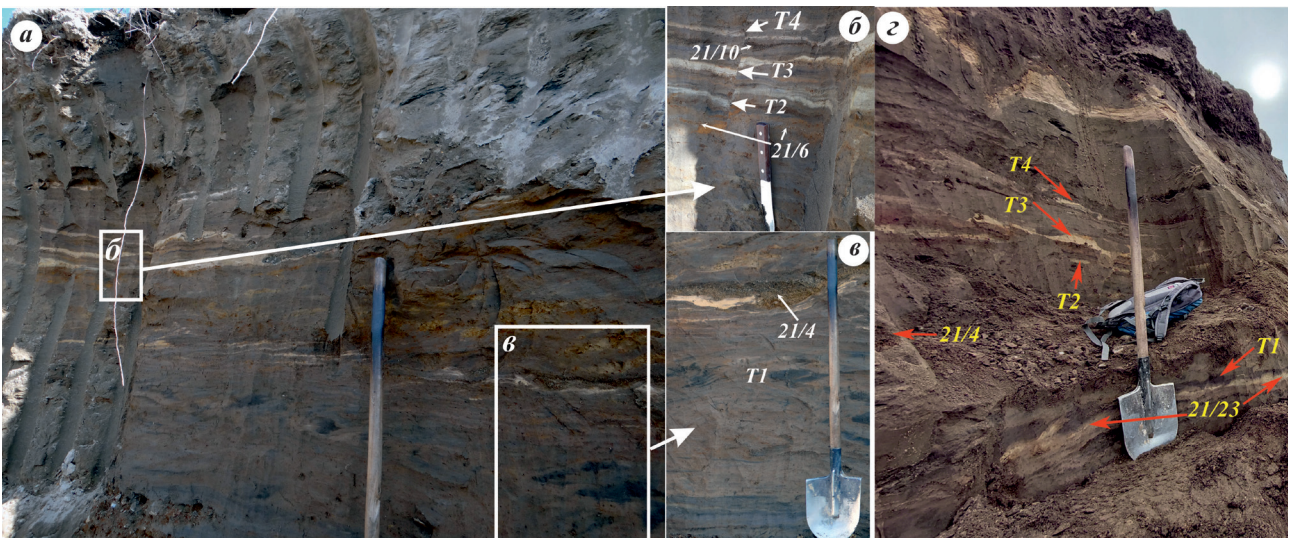


Рис. 2. Схематические стратиграфические колонки расчисток А и Б. 1 — супеси неясностратифицированные; 2 — пеплы белого, светло-желтого и желтого цвета; 3 — пеплы серого, темно-серого и черного цвета; 4 — пеплы бурого и ржавого цвета; 5 — тонкие пеплы (тонко- и мелкозернистые пески), 6 — крупнозернистые пески и мелкий гравий шлака; 7 — мелкий гравий, пемзы; 8 — стратиграфическое несогласие.

Fig. 2. Schematic stratigraphic columns of outcrops A and B. 1 — sandy loam not clearly stratified, 2 — white, light yellow and yellow tephra, 3 — grey, dark grey and black tephra, 4 — tephra of brown and rusty colors, 5 — fine to very fine-grained tephra, 6 — coarse-grained (up to small lapilli) scoria, 7 — small pumice lapilli, 8 — unconformity.

Рис. 3. Расчистки разреза 1: а — общий вид расчистки А, на котором показано среднее положение фрагментов б и в; б — фрагмент средней части расчистки А с маркирующими горизонтами пеплов Т2—Т4, по которым проводилась корреляция расчисток и пеплами 21/6 и 21/10 (длина ножа 25 см); в — фрагмент нижней части расчистки А с маркирующим горизонтом Т1 и пеплом 21/4 (длина лопаты 1.2 м); г — расчистка Б с пеплами-маркерами Т1—Т4 и пеплами — 21/23 и 21/4 (Фото Н.В. Горбач).

Fig. 3. Outcrops of section 1: а — general view of outcrop A with locations of fragments б and в; б — fragment of the middle part of outcrop A with marker ash layers T2—N4 used to correlate outcrops and tephras 21/6 and 21/10 (knife length is 25 cm); в — fragment of the lower part of outcrop A with T1 marker ash and tephra 21/4 (shovel length is 1.2 m); г — outcrop Б with marker ashes T1—T4 and tephras 21/23 and 21/4 (Photo by N.V.Gorbach).



Тефра 21/23 представлена грязно-желтым, хорошо сортированным тонкозернистым песком. Этот горизонт обнаружен только в нижней части расчистки Б, где его мощность составляет ~4 см. По простиранию он быстро выклинивается и в расчистке А практически отсутствует. Состав вулканических стекол отвечает дацитам с пониженным содержанием калия ($\text{SiO}_2 = 66.7\text{--}69.3$ мас. %, $\text{K}_2\text{O} = 1.36\text{--}1.64$ мас. %).

Тефра 21/4 присутствует в обеих расчистках в виде отчетливого горизонта коричневатого-серого, хорошо сортированного грубозернистого песка мощностью до 10 см. Состав вулканических стекол отвечает андезитам с пониженным содержанием калия ($\text{SiO}_2 = 59.7\text{--}62.0$ мас. %, $\text{K}_2\text{O} = 1.10\text{--}1.33$ мас. %).

Тефра 21/10 обнаружена только в расчистке А и представляет собой горизонт буровато-серого грубозернистого песка с большим количеством светлых зерен плагиоклаза (?). Мощность горизонта ~3 см. Состав вулканических стекол соответствует андезитам с пониженным содержанием калия ($\text{SiO}_2 = 58.9\text{--}60.4$ мас. %, $\text{K}_2\text{O} = 0.97\text{--}1.10$ мас. %).

Для определения вулкана-источника составы стекол пеплов 21/23, 21/4 и 21/10 были сопоставлены с составами стекол из тефры близлежащих вулканов (Авачинский, Корякский, Жупановский, Горелый), активных в позднем

плейстоцене, а также вулкана Ксудач (Южная Камчатка), чьи стекла также характеризуются пониженным содержанием калия (рис. 4).

На приведенных диаграммах отчетливо показано, что, несмотря на сходство составов по основным петрогенным элементам, различное содержание K_2O позволяет отнести все три пепла к пеплам Авачинского вулкана, отличающихся от стекол вулкана Ксудач несколько более высокими содержаниями K_2O . В то же время, стекла вулканов Корякский, Жупановский и Горелый, наоборот, имеют заметно более высокие содержания K_2O . Таким образом, можно предположить, что все три горизонта сформировались в результате извержений вулкана Авачинский. Для определения масштабов этих извержений была использована методика, предложенная в работе (Legross, 2000), позволяющая, в первом приближении, оценить минимальные объемы извергнутой тефры по площади одной изопачиты (рис. 5). По полученным расчетам, объем тефры 21/23 составлял не менее 0.06 км^3 , тефры 21/4 — не менее 0.1 км^3 , а тефры 21/10 — не менее 0.03 км^3 , что делает эти извержения сопоставимыми с сильными эксплозивными извержениями Авачинского вулкана в историческое время, а извержение 21/4 ставит в один ряд с его мощным извержением в 1945 г. (Мелекесцев и др., 1993, 1994).

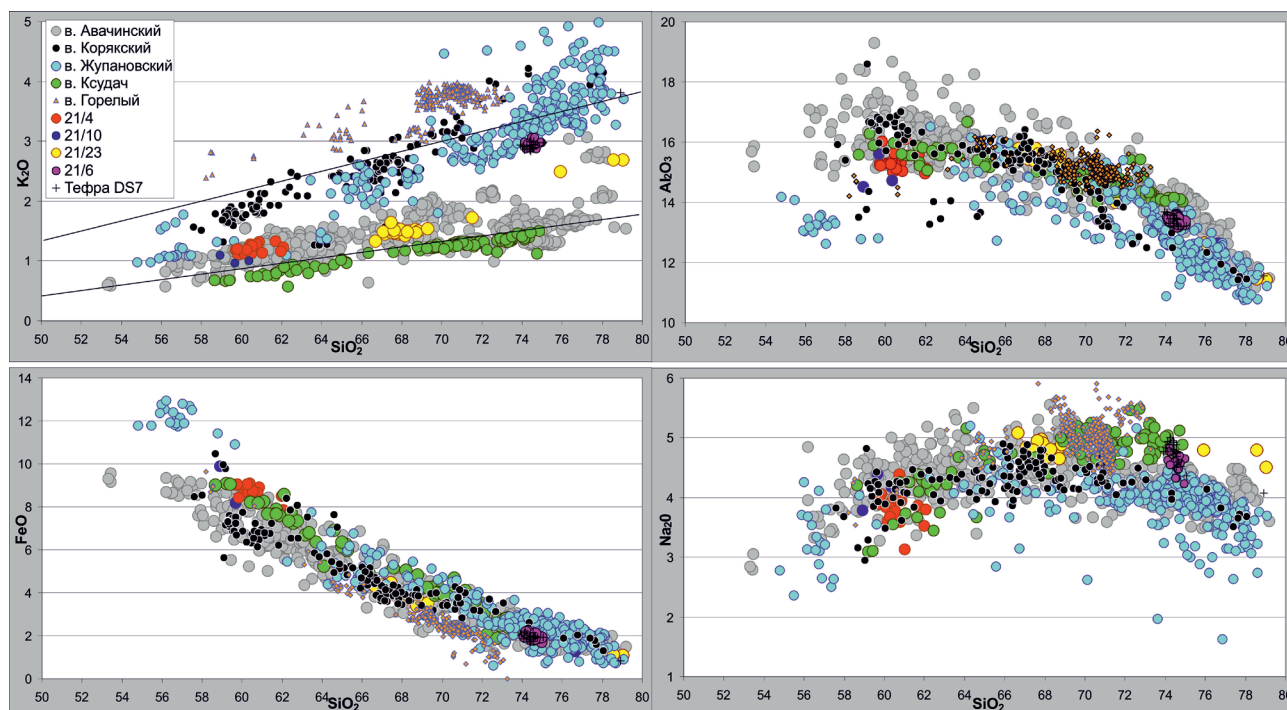


Рис. 4. Химический состав вулканических стекол из идентифицированных пеплов и их сравнение с составами стекол вулканов Авачинский, Корякский, Жупановский, Горелый и Ксудач — по (Горбач и др., 2018; Krashennnikov et al., 2020; Ponomareva et al., 2023, Portnyagin et al., 2020).

Fig. 4. Chemical composition of volcanic glasses from identified tephra. Glass composition of Avachinsky, Koryaksky, Zhupanovsky, Gorely and Ksudach volcanoes according to (Gorbach et al., 2018; Krashennnikov et al., 2020; Ponomareva et al., 2023, Portnyagin et al., 2020).

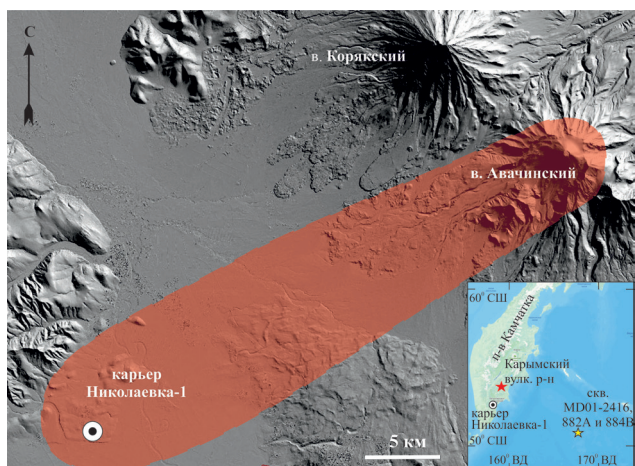


Рис. 5. Минимальная площадь изопакиты для идентифицированных пеплов Авачинского вулкана, построенная по одной точке. На врезке показано положение Карымского вулканического района и скважин MD01–2416, 882A и 884B, в которых была обнаружена тефра DS7.

Fig. 5. Minimum isopach area for identified tephra of Avachinsky volcanoes based on a single observation point. The Inset shows the position of Karymsky volcanic cluster and cores MD01–2416, 882A и 884B, in which tephra DS7 was found.

Тефра 21/6 присутствует только в расчистке А и представляет собой горизонт охристо-ржавого цвета мощностью 0.5–1 см. В нем, в тонком заполнителе, рассеяны крупные зерна песка и мелкого гравия светло-серой пемзы, диаметром до 3 мм. Состав стекол пемзового гравия отвечает риолитам с повышенным содержанием калия ($\text{SiO}_2 = 74.1\text{--}75.0$ мас.%, $\text{K}_2\text{O} = 2.87\text{--}3.06$ мас.%). Сопоставление состава стекол этого пепла с опубликованными данными выявило их отчетливое сходство со стеклами одного из пеплов (а именно, с тэфрой DS7), изученных в кернах колонок глубоководного бурения MD01–2416, 882A и 884B, расположенных на подводной горе Детроит в СЗ части Тихого океана (Ponomareva et al., 2023). Согласно возрастной модели, построенной для этих колонок, этот пепел образовался около 107 тыс. лет, а наиболее вероятным источником является один из центров Карымского вулканического района (Ponomareva et al., 2023).

Эта корреляция позволяет сделать очень важный вывод о возрасте обнаруженных нами пеплов вулкана Авачинский. Тефра 21/10, залегающая выше тephры 21/6, образовалась менее 100 тыс. л.н., в то время как тephры 21/4 и 21/23, залегающие ниже, — старше 100 тыс. лет.

Полученные результаты вступают в очевидное противоречие с принятым возрастом Авачинского вулкана (50–60 тысяч лет) (Брайцева и др., 1994), поскольку увеличивают возраст вулкана как минимум вдвое. Возможная причина этого несоответствия заключается в интерпрета-

ции результатов геоморфологического анализа особенностей постройки вулкана. По мнению вышеупомянутых авторов, склоны вулкана не подвергались воздействию ледников I фазы позднеплейстоценового оледенения, из чего делается вывод о том, что вулкан моложе этого оледенения. С нашей точки зрения, отсутствие следов ледниковой обработки свидетельствуют о том, что вулкан закончил свое формирование в современном виде после I фазы оледенения. Когда же он начал свою деятельность остается неизвестным и наши данные, возможно, свидетельствуют о том, что вулкан начал свое формирование более 100 тыс. л.н. Таким образом, вопрос о возрасте вулкана требует проведения дополнительных, более детальных, исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований в карьере Николаевка-1 был изучен разрез позднеплейстоценовых озерных отложений, вмещающих многочисленные прослои вулканических пеплов, наиболее древние из которых имеют возраст более 100 тысяч лет. Первые результаты изучения составов вулканических стекол из тephр позволили идентифицировать не менее трех горизонтов пеплов, связанных с извержениями Авачинского вулкана. Один из них оказался немногим моложе 100 тыс. лет, а два других отложились более 100 тыс. лет назад. Приведенные нами оценки минимальных масштабов извержений — источников этих пеплов, делает их сравнимыми по силе с большинством исторических эксплозий этого вулкана, а извержение 21/4 — с мощным извержением 1945 г. Полученные результаты позволяют предположить, что возраст вулкана составляет более 100 тысяч лет, однако окончательные выводы о его возрасте можно будет делать только после проведения дополнительных, детальных исследований.

Исследования проводились в рамках работ по теме НИР «Изучение механизмов извержений Авачинского вулкана и создание методик оценки вулканической опасности» (FWME–2024–0015), исследования В.В. Пономаревой финансировались по гранту РФ № № 22–17–00074, Л.И. Базановой — по теме НИР «Эволюция крупномасштабного эксплозивного вулканизма Северо-Западной Пацифики в позднем кайнозое: масштабы, периодичность, локализация, влияние на палеоэкосистемы и климат» (FWME–2024–0011).

Список литературы [References]

Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В. и др. Возраст действующих вулканов Курило-Камчатского региона // Вулканология и сейсмология.

1994. № 4–5. С. 5–32 [*Braitseva O.A., Melekestsev I.V., Ponomareva V.V. et al.* Age of active volcanoes of Kurile-Kamchatka zone // *Volcanology and Seismology*. 1994. №. 4–5. P. 5–32 (in Russian)].
- Геологическая карта Российской Федерации, лист N–57–XXVII, масштаб 1:200 000 / Санкт-Петербург. 2000 [Geological map of Russia Federation, Sheet N-57-XXVII, scale 1:200 000 / Saint Petersburg. 2000 (in Russian)].
- Горбач Н.В., Плечова А.А., Маневич Т.М. и др.* Состав вулканических пеплов и динамика извержения вулкана Жупановский в 2013–2016 гг. // *Вулканонология и сейсмология*. 2018. № 3. С. 3–20 [*Gorbach N.V., Plechova A.A., Manevich T.M. et al.* The composition of volcanic ash and the dynamics of the 2013–2016 Zhupanovsky volcano eruption // *Journal of Volcanology and Seismology*. 2018. № 12. P. 155–171. <https://doi.org/10.1134/S0742046318030028>].
- Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Двигало В.Н. и др.* Исторические извержения Авачинского вулкана на Камчатке (попытка современной интерпретации и классификации для долгосрочного прогноза типа и параметров будущих извержений). Ч. I (1737–1909 гг.) // *Вулканонология и сейсмология*. 1993. № 6. С. 13–27 [*Melekestsev I.V., Braitseva O.A., Dvigalo V.N. et al.* Historical eruptions of Avachinsky volcano, Kamchatka (attempt to modern interpretation and classification for long-term forecast of future type of eruption and its parameters. Pt. I (1737–1909 AD) // *Volcanology and Seismology*. 1993. №. 6. P. 13–27 (in Russian)].
- Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Двигало В.Н. и др.* Исторические извержения Авачинского вулкана на Камчатке (попытка современной интерпретации и классификации для долгосрочного прогноза типа и параметров будущих извержений). Ч. II (1926–1991 гг.) // *Вулканонология и сейсмология*. 1994. № 2. С. 3–23 [*Melekestsev I.V., Braitseva O.A., Dvigalo V.N. et al.* Historical eruptions of Avachinsky volcano, Kamchatka (attempt to modern interpretation and classification for long-term forecast of future type of eruption and its parameters. Part II (1926–1991 AD) // *Volcanology and Seismology*. 1994. №. 2. P. 3–23 (in Russian)].
- Krashenninikov 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. P. 107088. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.107088>
- 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. [https://doi.org/10.1016/s0377-0273\(99\)00135-3](https://doi.org/10.1016/s0377-0273(99)00135-3)
- Ponomareva V., Portnyagin M., Bubenshchikova N. et al.* A 6.2 Ma–long record of major explosive eruptions from the NW Pacific volcanic arcs based on the offshore tephra sequences on the northern tip of the Emperor Seamount Chain // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2023. V. 24. P. e2023GC011126. <https://doi.org/10.1029/2023GC011126>
- 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. P. 469–486. <https://doi.org/10.5194/essd-12-469-202>

FIRST FINDINGS OF LATE PLEISTOCENE TEPHRAS OF AVACHINSKY VOLCANO (SOUTHERN KAMCHATKA)

O.V. Dirksen¹, L.I. Bazanova¹, V.V. Ponomareva¹, M.V. Portnyagin²,
T.M. Filosofova¹, V.G. Dirksen¹

¹*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 683006*

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

Received October 29, 2024; revised December 19, 2024; accepted December 25, 2024

In the Nikolaevka-1 quarry (53°05'17.45»N, 158°21'26.28»E), sequence of ash horizons buried in lake sediments formed about 100 thousand years ago were found. Analysis of the composition of volcanic glasses from these tephra allows us to identify for the first time three Late Pleistocene tephra of Avachinsky volcano (21/23, 21/4 and 21/10). In addition, tephra DS7 from one of the centers of the Karymsky volcanic cluster, with an age of about 107 thousand years, was discovered. The stratigraphic position of the Avachinsky volcano tephra, relative this tephra DS7, allows us to state that tephra 21/10 formed slightly less than 100 thousand years ago, while the other two (21/23 and 21/4) are older than 100 thousand years. Estimates of the minimum volumes of material, ejected during these eruptions, make them comparable to most historical eruptive events at this volcano, and the eruption 21/4 — to the most powerful eruption during 20th century, the 1945 eruption.

Keywords: Avachinsky volcano, tephra, late Pleistocene.