

**Первые данные об эксплозивной активности вулкана Кроноцкий (Восточная Камчатка) в голоцене**

**Горбач Н.В.<sup>1</sup>, Филоsofova Т.М.<sup>1</sup>, Rogozin А.Н.<sup>1</sup>, Овсянников Г.Н.<sup>1,2</sup>, Портнягин М.В.<sup>3</sup>, Щербakov В.Д.<sup>2</sup>**

**First data on the Holocene explosive activity of Kronotsky volcano (Eastern Kamchatka)**  
**Gorbach N.V., Filosofova T.M., Rogozin A.N., Ovsyannikov G.N., Portnyagin M.V., Shcherbakov V.D.**

<sup>1</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;*  
*e-mail: n\_gorbach@mail.ru*

<sup>2</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва*

<sup>3</sup> *GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research, Kiel, Germany*

В разрезах почвенно-пирокластических отложений впервые обнаружены горизонты шлаков, связанные с эксплозивными извержениями вулкана Кроноцкий, что подтверждает его статус действующего вулкана. Возраст извержений – ~5200-5400 л.н. и ~6000 л.н. – определен на основе стратиграфических соотношений горизонтов шлаков с ранее датированными маркирующими горизонтами тефры.

Вулкан Кроноцкий, расположенный во фронтальной части Восточного вулканического пояса, является одним из крупнейших стратовулканов Камчатки [2]. Вулкан считается действующим на основании свидетельств о слабой паро-газовой активности с вероятной примесью пепла в 1922-1923 гг. [4]. Однако никаких других следов его недавней активности ранее не было обнаружено. Отсутствие подобных сведений для вулкана может быть обусловлено не только слабой изученностью [2], но и быть следствием того, что его эксплозивные извержения были крайне редкими в голоцене. Так, И.В. Мелекесцев считал, что Кроноцкий находится в стадии затухания активности и разрушения постройки [5].

Летом 2023 г. во время полевых работ на северных склонах вулкана нами было обнаружено, задокументировано и опробовано четыре почвенно-пирокластических разреза, которые потенциально вмещали тефру Кроноцкого вулкана [3]. Для того чтобы подтвердить принадлежность тефры к продуктам извержения Кроноцкого вулкана, мы определили состав вулканического стекла в образцах из горизонтов шлаков, сопоставили результаты с аналогичными данными для образцов пирокластики, отобранных на склонах постройки стратовулкана, а также сравнили их с продуктами извержений других близко расположенных вулканов (Крашенинникова и Гамчен). Кроме того, для точной идентификации маркирующих горизонтов тефры мы выполнили определения состава вулканического стекла во всех слоях пирокластики из наших разрезов и сопоставили их с референсными составами из работ [8-11].

**Образцы и методы.** На рисунке 1а показано расположение изученных разрезов на северном подножии Кроноцкого вулкана. 33 образца тефры, отобранных в разрезах (рис. 1б и в), а также 15 образцов шлаков и фрагментов бомб со склонов постройки стратовулкана и шлаковых конусов вулкана Крашенинникова были помещены в формы из оргстекла и залиты эпоксидной смолой. После отвердевания препараты были отполированы на алмазных пастах и покрыты углеродным напылением. Определение содержаний главных компонентов (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K и P) в вулканических стеклах было выполнено в ИВиС ДВО РАН при помощи сканирующего электронного микроскопа Vega 3 Tescan, оборудованного энергодисперсионным спектрометром Oxford X-max80mm<sup>2</sup> и программным обеспечением AZtec. Кроме того, несколько образцов было проанализировано на электронном зонде JEOL JXA-8200 в GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel (г. Киль, ФРГ) и на электронном зонде JEOL JXA-8230 на Кафедре петрологии и вулканологии Геологического факультета МГУ. Использование международных аттестованных стандартных образцов

вулканических стекол в ходе всех аналитических сессий обеспечило возможность сопоставления анализов, полученных в разных лабораториях.

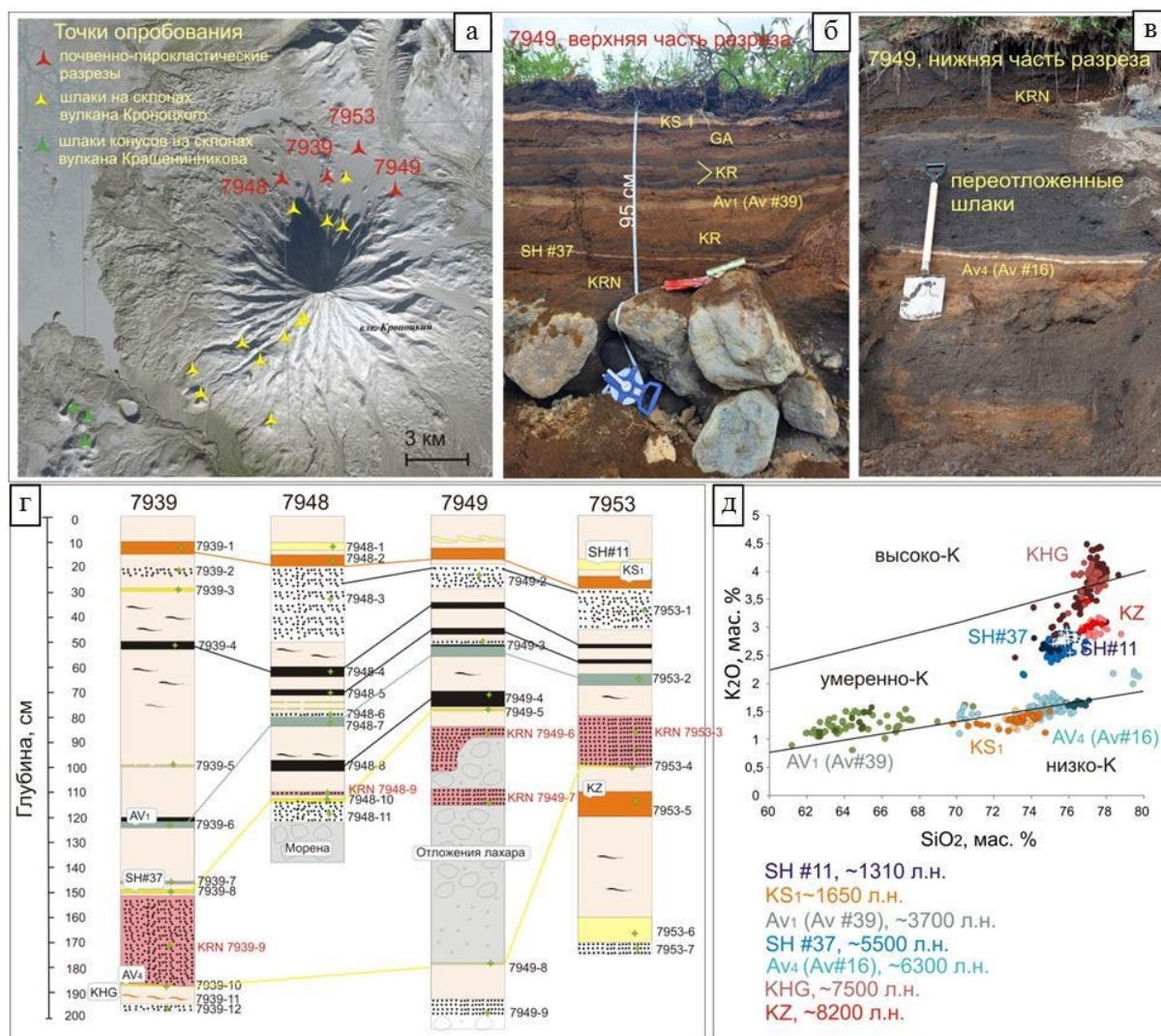


Рис. 1. Результаты изучения почвенно-пирокластических разрезов на северных склонах вулкана Кроноцкий. а – позиция изученных разрезов; б – облик верхней части разреза в точке #7949, в – облик нижней части разреза в точке #7949, где отложения шлаков ассоциируют с отложениями лахара, г – схематические разрезы, подписаны номера отобранных и проанализированных образцов; черные точки, маркирующие отдельные горизонты, обозначают грубые шлаки, сплошная заливка отдельных горизонтов отвечает средне-, мелкозернистым пеплам; красным шрифтом выделены номера образцов, отвечающие продуктам активности вулкана Кроноцкий; д – состав вулканических стекол маркирующих горизонтов тефры в координатах SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O, дискриминационные линии по [7]. Темный оттенок знаков отвечает референсным составам стекол отдельных объектов согласно [10], более светлый оттенок соответствует составам стекол из наших разрезов. Возраст маркирующих горизонтов пеплов (калиброванный от 1950 г.) согласно работам [8-11].

**Идентификация маркирующих горизонтов пеплов в разрезах.** Голоценовые тефры-маркеры Восточной Камчатки детально изучены, датированы и геохимически охарактеризованы [1, 6, 8-11]. Установлено, что источниками главных маркеров для северной ее части были вулканические центры Шивелуч, Опала, Ксудач, Авачинский, Хангар, Кизимен и Карымский. На основе результатов анализа состава вулканических стекол все перечисленные маркеры, за исключением Опалы, были идентифицированы в наших разрезах (рис. 1д). Практически во всех разрезах установлены горизонты, связанные с извержениями вулкана Шивелуч (SH#11/SH<sub>3</sub>1310 л.н. и SH#37 ~5500 л.н.

[9, 10]), с кальдерообразующим извержением вулкана Ксудач ( $KS_1$ , ~1650 л.н. [12]), два горизонта извержений вулкана Авачинский ( $AV\#39/AV_1$ , ~3800 л.н. и  $AV\#16/AV_4$ , ~6300 л.н. [8, 10]. Кроме того, в основании одного из разрезов были обнаружены тонкие линзы пеплов субкальдерного извержения вулкана Хангар ( $KHG$ , ~7900 л.н.), а в другом – следы извержения вулкана Кизимен ( $KZ$ , ~8200 л.н.) [10 и ссылки в ней].

**Горизонты тефры вулкана Кроноцкий и их возраст.** На рис. 2 показано сравнение составов стекол из горизонтов шлака в наших разрезах с аналогичными данными для образцов пирокластики со склонов постройки вулкана Кроноцкий, а также с данными для продуктов извержений вулканов Крашенинникова и Гамчен [10, 11]. На диаграмме  $SiO_2$ - $K_2O$  (рис. 2а) большая часть точек составов вулканических стекол из двух горизонтов шлака из наших разрезов находится в поле составов стекол образцов самой постройки и хорошо отличается от вулканических стекол вулкана Гамчен более основным составом. Однако, в области содержаний  $SiO_2$  55-57 масс. % составы стекол вулканов Кроноцкий и Крашенинникова сближаются, что не позволяет четко разграничить области их составов. Диаграмма  $K_2O$ - $TiO_2$  (рис. 2б) предоставляет такую возможность – составы двух объектов демонстрируют различные тренды поведения  $TiO_2$  по мере роста содержания калия. Таким образом, на основе полученных данных по составу вулканического стекла мы выделяем в разрезах два горизонта, которые связаны с извержениями вулкана Кроноцкий. Основной горизонт шлака обнаружен в трех разрезах и представлен образцами 7939-9, 7949-6, 7949-7, 7953-3 на рис. 1г. Мощность горизонта составляет от 20 до 30 см, а крупность шлаковых лапилли достигает 2 см ближе к вулкану (точки 7939 и 7949) и уменьшается до 0.5-1 см с удалением от него (точка 7953). Горизонт шлаков во всех разрезах залегает между маркирующими тефрами вулканов Шивелуч ( $SH\#37$ , ~5500 л.н.) и Авачинский ( $AV\#16$ , ~6300 л.н.). Такая строгая стратиграфическая позиция горизонта шлака позволяет определить время его извержения около 6000 л.н. На северо-восточном подножии (точка 7949, рис. 1а) шлаки ассоциируют с отложениями лахара, что дает основание предполагать локализацию центра извержения именно в этом секторе вулкана. Еще один горизонт обнаружен только в одном разрезе (обр. 7948-9, рис. 1г) и представлен стратифицированным черным среднезернистым пеплом с примесью лапилли до 0.5 см. Пепел залегает непосредственно над маркирующим горизонтом  $SH\#37$ , и, следовательно, его возраст может составить около ~5200-5400 лет.

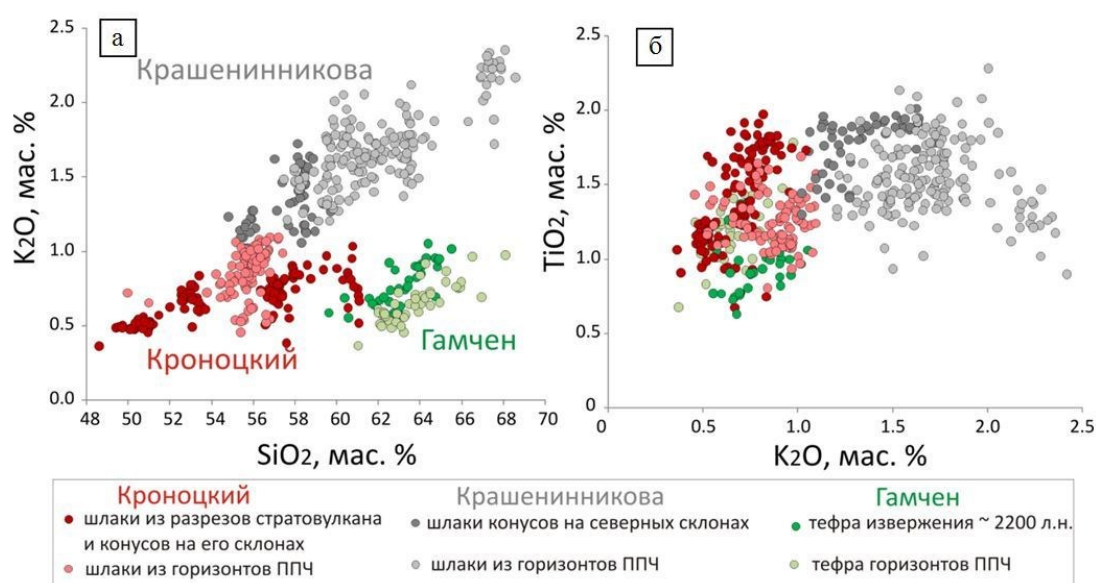


Рис. 2. Состав вулканических стекол в тефре различных вулканов района исследований на диаграммах  $SiO_2$ - $K_2O$  (а) и  $K_2O$ - $TiO_2$  (б). Референсные составы стекол тефры вулкана Крашенинникова представлены по нашим данным и по данным работы [10], а для тефры вулкана Гамчен – согласно [10, 11].

Кроме двух горизонтов шлаков, которые мы отнесли к продуктам активности Кроноцкого вулкана, во всех разрезах идентифицирован горизонт, связанный с извержением вулкана Гамчен ~2150 л.н., а также широко представлены тефры разной крупности, связанные с активностью вулкана Крашенинникова.

**Заключение.** В стратифицированных голоценовых почвенно-пирокластических отложениях впервые обнаружены горизонты тефры, связанные с эксплозивными извержениями вулкана Кроноцкий. Горизонт шлаков мощностью от 20 до 30 см, отвечающий по составу продуктам эксплозивного извержения Кроноцкого вулкана, залегает между тефрами извержений вулканов Шивелуч и Авачинский с возрастными ~5500 л.н. и ~6300 л.н., соответственно. Возраст этого слоя оценивается приблизительно в 6000 л.н. Еще один, менее мощный горизонт, обнаружен выше слоя тефры вулкана Шивелуч ~5500 л.н. и, наиболее вероятно, связан с извержением около ~5200-5400 л.н. Впервые установленные нами голоценовые извержения вулкана Кроноцкий позволяют подтвердить его статус действующего вулкана.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 23-27-00053 «Условия происхождения и эволюции магм во фронтальной зоне островной дуги на примере вулкана Кроноцкого (Восточная Камчатка)» (<https://rscf.ru/project/23-27-00053/>).

Авторы искренне признательны В.В. Пономаревой и О.В. Дирксену за обсуждение результатов работы.

#### Список литературы

1. *Брайцева О.А., Базанова Л.И., Мелекесцев И.В., Сулержицкий Л.Д.* Крупнейшие голоценовые извержения вулкана Авачинский на Камчатке (этап 7250-3700 <sup>14</sup>С лет назад) // *Вулканология и сейсмология*. 1998. № 1. С. 3-24.
2. *Горбач Н.В., Rogozin A.N.* Особенности геологического строения и состава пород вулкана Кроноцкого – крупнейшего стратовулкана фронтальной зоны Восточного вулканического пояса Камчатки // *Вулканология и сейсмология*. 2023. № 5. С. 26-45.
3. *Горбач Н.В., Rogozin A.N., Овсянников Г.Н.* Полевые работы на северных склонах Кроноцкого вулкана в июле-августе 2023 г. // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2023. № 4. Вып. 60. С. 114-121. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2023-4-60-114-121>
4. *Гуценко И.И.* Вулкан Кроноцкий // В кн.: *Действующие вулканы Камчатки*. Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 52-61.
5. *Мелекесцев И.В.* Действующие и потенциально активные вулканы Курило-Камчатской островной дуги в начале XXI в.: этапы исследований, определение термина «действующий вулкан», будущие извержения и вулканическая опасность // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2006. № 1. Вып. 7. С. 15-35.
6. *Braitseva O.A., Ponomareva V.V., Sulerzhitsky L.D. et al.* Holocene key-marker tephra layers in Kamchatka, Russia // *Quaternary Research*. 1997. V. 47. № 2. P. 125-139. <https://doi.org/10.1006/qres.1996.1876>
7. *Gill J.B.* Orogenic andesites and plate tectonics. 1981, Berlin Heidelberg: Springer Verlag. 390 p.
8. *Krashennnikov S.P., Bazanova L.I., Ponomareva V.V., Portnyagin M.V.* Detailed tephrochronology and composition of major Holocene eruptions from Avachinsky, Kozelsky, and Koryaksky volcanoes in Kamchatka // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2020. № 408. Art. 107088. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.107088>
9. *Ponomareva V., Portnyagin M., Pendea I.F. et al.* A full Holocene tephrochronology for the Kamchatsky Peninsula region: Applications from Kamchatka to North America // *Quaternary Science Reviews*. 2017. V. 168. P. 101-122. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.04.031>
10. *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. № 1. P. 469-486. <https://doi.org/10.5194/essd-12-469-2020>
11. *Zelenin E., Kozhurin A., Ponomareva V., Portnyagin M.* Tephrochronological dating of paleoearthquakes in active volcanic arcs: A case of the Eastern Volcanic Front on the Kamchatka Peninsula (northwest Pacific) // *Journal of Quaternary Science*. 2020. V. 35. № 1-2. P. 349-361.