

ПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ НА СЕВЕРНЫХ СКЛОНАХ КРОНОЦКОГО ВУЛКАНА В ИЮЛЕ-АВГУСТЕ 2023 г.

© 2023 Н.В. Горбач¹, А.Н. Рогозин¹, Г.Н. Овсянников^{1, 2}

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,
Россия, 683006; e-mail: n_gorbach@mail.ru

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия, 119991

Поступила в редакцию 05.09.2023 г.; после доработки 17.10.2023 г.; принята в печать 25.12.2023 г.

В июле–августе 2023 г. нам удалось провести полевые работы на северных склонах Кроноцкого вулкана в пределах редко посещаемой исследователями территории Кроноцкого государственного заповедника. Целью работ было опробование лав, слагающих вулканическую постройку в данном секторе и поиск ранее достоверно не установленных следов эксплозивной активности вулкана в голоцене. В работе перечислены и проиллюстрированы интересные находки и основные результаты работ. В частности, было выполнено опробование потоков лав, даек и пирокластических горизонтов на высотах от 780 до 2200 м; обнаружено несколько шлаковых и лавовых конусов; отобраны образцы гомеогенных включений и ксенолитов. Кроме того, подробно задокументированы и опробованы голоценовые почвенно-пирокластические разрезы, которые предположительно содержат горизонты тефры Кроноцкого вулкана.

Ключевые слова: вулкан Кроноцкий, базальты, геохимическая эволюция, гомеогенные включения, тефра.

Вулкан Кроноцкий — крупнейший среди стратовулканов фронтальной зоны Восточного вулканического пояса Камчатки (например, Горбач, Рогозин, 2023). Его остроконечный конус высотой 3528 м расположен восточнее Кроноцкого озера на территории Кроноцкого государственного природного биосферного заповедника (рис. 1, врезка). В 2021–2022 гг. нами были начаты инициативные исследования, направленные на реконструкцию геохимической эволюции этого крупного и слабоизученного объекта (Горбач и др., 2022). Было выполнено опробование лав и пирокластиков, залегающих преимущественно на юго-западных и южных склонах стратовулкана, а также на островах Кроноцкого озера (Горбач, Рогозин, 2023). В этом полевом сезоне мы продолжили опробование постройки стратовулкана в северном секторе. Краткие сведения об этом районе на сегодняшний день были известны только из работы И.И. Гущенко (1957) по результатам маршрутных обследований 1955 г.

С северной стороны верхняя треть конуса Кроноцкого вулкана покрыта ледником, от которого на высотах ниже 2500–2700 м расте-

кается несколько языков, вложенных в глубокие барранкосы. Наиболее протяженный и крупный из языков ледника спускается строго на север до высоты 1000 м. Наши маршруты проходили по гребням, окаймляющим северный язык ледника (рис. 2а–г).

Крутые склоны гребней предоставили возможность наблюдать строение вулкана в данном секторе: чередование пачек лавовых потоков, пирокластических прослоев и блоков туфов, а также многочисленные дайки, секущие образования стратовулкана (рис. 2б–е). Как и в ранее изученном нами юго-западном секторе (Горбач, Рогозин, 2023), на северных склонах хорошо проявлено деление постройки стратовулкана на участки различного строения и крутизны. Так, нижняя треть постройки конуса сложена пачками полого залегающих (до 20°) лавовых потоков с небольшой долей пирокластического материала. В средней и верхней частях постройки конуса объем прослоев шлаков, бомб и агглютинатов увеличивается, а склоны приобретают более значительную крутизну (в среднем около 45°).



Рис. 1. Вулкан Кроноцкий и полевой лагерь в его северном подножии. На врезке звездочкой показана региональная позиция объекта исследования, а желтой заливкой схематично обозначена территория Кроноцкого государственного природного биосферного заповедника.

Fig. 1. Kronotsky Volcano and the field camp on its northern flank base. In the inset, an asterisk shows position of the study object in Kamchatka, and by yellow fill the territory of the Kronotsky State Natural Biosphere Reserve is marked.

Мы опробовали серию лавовых потоков, даек, шлаковых конусов и лавовых куполов на абсолютных высотах от 780 до 2200 м. Один из куполов оказался неожиданной находкой. На космических снимках это место, расположенное в нескольких километрах ниже фронта современного ледника, выглядело как вал конечной морены. Однако на местности выяснилось, что основной объема «вала» составляет лавовый купол, к которому прилегает материал морены. Купол имеет плоскую вершину, его центральную часть составляют лавы с призматической отдельностью, а на контактах отдельность приобретает облик, близкий к уложенной веером «поленнице» (рис. 3а).

На куполах других вулканических объектов подобные морфологические особенности часто рассматривались как признак извержения под ледником. К примеру, близкую морфологию и сходную отдельность имеют купола южнее вулкана Безымянный (Плотина, Ступенчатый, Двуглавый, Разлатый, Кулич) образование которых связывалось с подледными излияниями (Брайцева и др., 1990). Наиболее вероятно,

что обнаруженный нами лавовый купол также мог быть сформирован в подобных условиях. По полевым определениям, породы купола представлены оливиновыми базальтами.

К интересным находкам можно отнести лавы с крупными, достигающими 7–8 мм в поперечнике, гломеропорфировыми сростками клинопироксена и оливина или же отдельными выделениями клинопироксена таких же размеров, а также многочисленные включения полнокристаллических оливин-пироксен-плагиоклазовых пород (рис. 3 б–д).

Ранее подобные включения были найдены нами только в коренных выходах на одном из островов Кроноцкого озера (Горбач, Рогозин, 2023), а на северных склонах вулкана встречались повсеместно — в осыпях, в глыбовом материале морены современного ледника и в коренных выходах лав. Эти включения, наиболее вероятно, принадлежат к типу гомеогенных — родственных вмещающей их лаве. Подобные включения часто встречаются в породах вулканов Камчатки и Курил, расположенных во фронтальной области вулканического

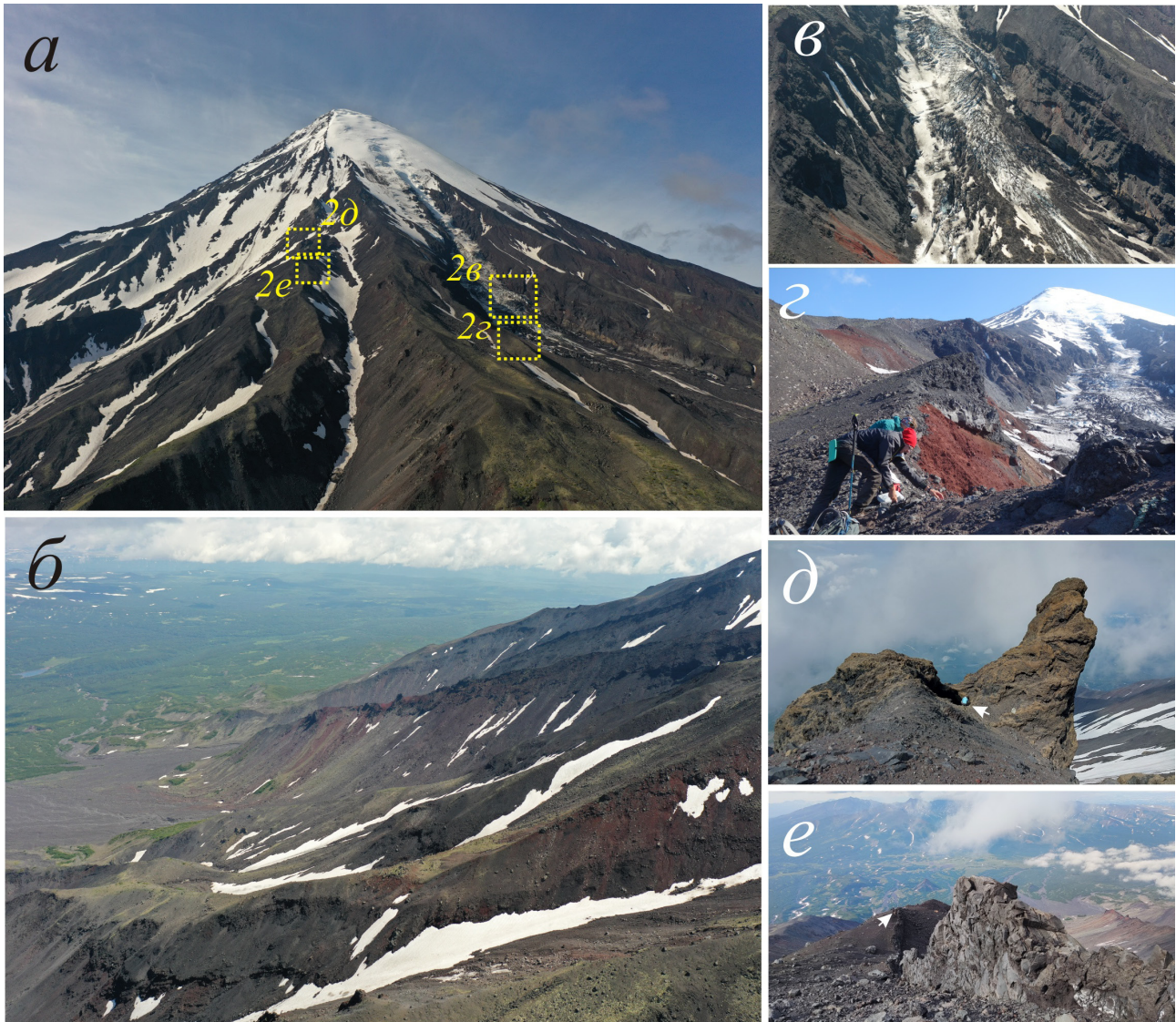


Рис. 2. Северный склон вулкана Кроноцкого: *а* — общий вид; *б* — типичный облик гребней, покрытых потоками базальтовых лав; *в* — фрагмент наиболее протяженного языка ледника, опускающегося до абсолютной высоты 1000 м; *г* — лавовые потоки, эродированные ледником; *д* — останец туфов; *е* — одна из протяженных даек на гребне вулкана.

Fig. 2. The northern slope of Kronotsky Volcano: *a* — general view; *б* — typical appearance of the ridges covered with basaltic lava flows, *в* — fragment of the most extended glacier lobe descending to an absolute height of 1000 m, *г* — lava flows eroded by a glacier; *д* — tuff remnant; *е* — one of the extended dikes on a ridge crest.

пояса (Волынец и др., 1978; Фролова и др., 1988). Так, на вулканах Ксудач, Ильинский, Мутновский описаны и детально изучены включения алливалитов — полнокристаллических крупнозернистых оливин-плагиоклазовых пород (Плечов и др., 2008; Шишкина и др., 2009). Включения, найденные нами в лавах вулкана Кроноцкого, по полевым определениям отличаются от алливалитов обилием клинопироксена и более тонкой зернистостью. Изучение минерального состава включений в комплексе с применением термобарометрических методов позволит получить дополнительную информацию о процессах эволюции магм Кроноцкого вулкана.

Один из наших маршрутов был нацелен на опробование экструзии на высоте более 2000 м, которая упоминалась в работах И.И. Гущенко (1957, 1991). Мы уточнили местоположение, состав и происхождение этого тела. Подножие экструзии было обнаружено нами на высоте около 2200 м, где массивная лава внедрена в обломочный склоновый материал с резким контактом (рис. 4).

Согласно полевым определениям лава отвечает двупироксеновым андезитам и, предположительно, относится к наиболее дифференцированным разностям среди пород вулкана Кроноцкого, имеющих в нашей коллекции на сегодняшний день.

Несколько маршрутов было направлено на поиск информативных разрезов пирокластических отложений, в которых могут присутствовать следы голоценовых извержений Кроноцкого вулкана, до сих пор достоверно не установленных (Пономарева, Брайцева, 1990). В ходе этих маршрутов в естественных обрывах по бортам ручьев и

гребней нами было задокументировано несколько обнажений почвенно-пирокластического чехла (рис. 5а). В ряде нами было задокументировано несколько обнажений почвенно-пирокластического чехла удалось обнаружить три горизонта шлаков, мощность и крупность которых возрастает по мере приближения к вулкану. Эти шлаки



Рис. 3. Облик и морфология базальтовых лав на северных склонах вулкана Кроноцкого: *а* — купол оливиновых базальтов, на врезках показаны увеличенные фрагменты внешних участков купола; *б* — глыба кровли лавового потока с поверхностью причудливо переплетающихся канатов; *в* — бомба оливин-пироксен-плагиоклазовых базальтов; *г* — полнокристаллическое включение в сильно пористой базальтовой лаве; *д* — ксенолит сложного состава и морфологии в породах лавового купола на высоте 2200 м.

Fig. 3. Appearance and morphology of basaltic lavas on the northern slope of Kronotsky Volcano: *a* — a dome of olivine basalts; the insets show enlarged fragments of the outer parts of the dome; *b* — a roof block of a lava flow with a surface made by intricately intertwined ropes; *v* — a bomb of olivine-pyroxene-plagioclase basalt; *g* — a gabbroic xenolith in highly porous basaltic lava; *d* — xenolith of complex composition and morphology in the lava dome rocks at an altitude of 2200 m.

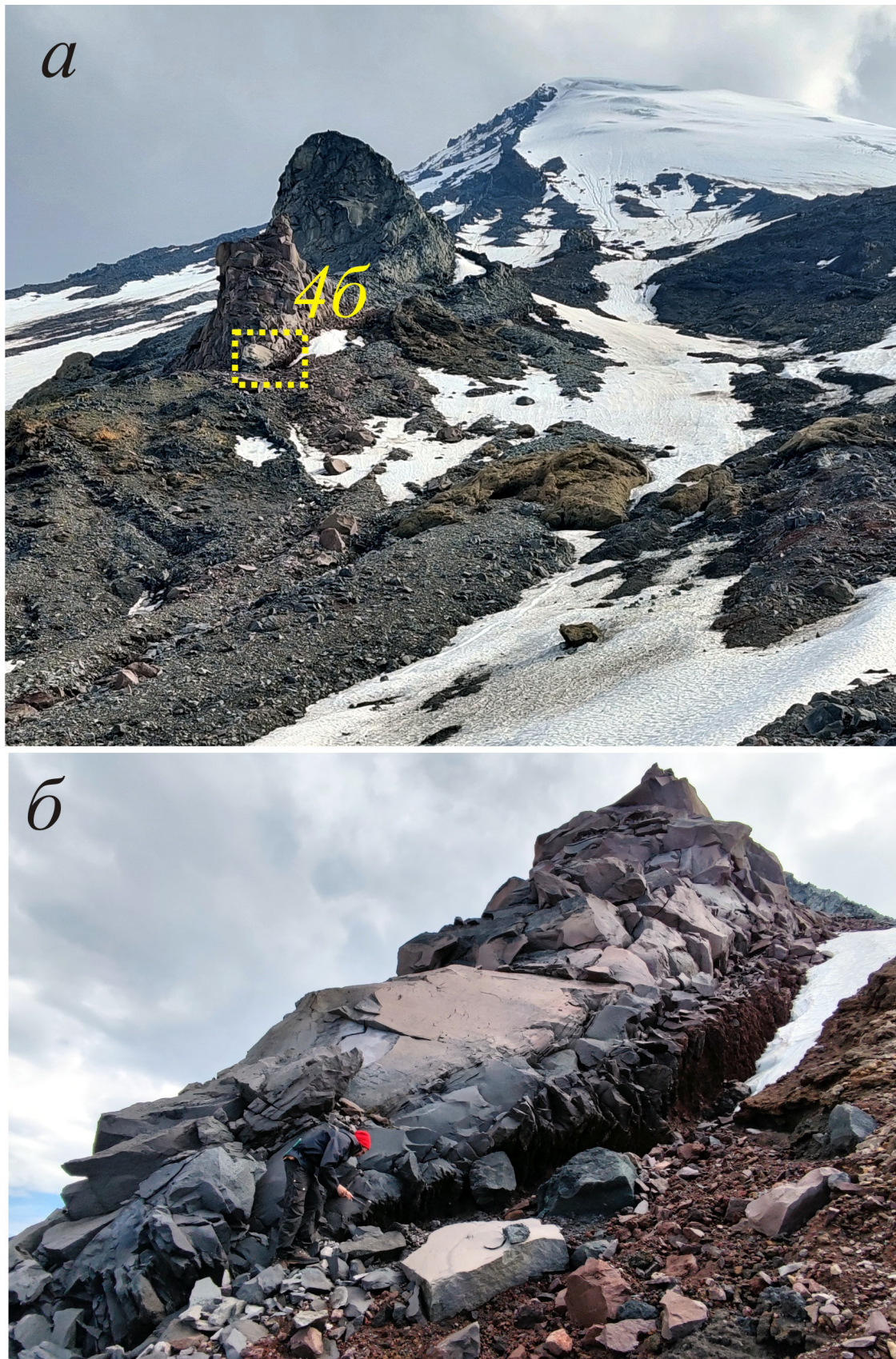


Рис. 4. Лавовый купол пироксеновых андезитов-андезибазальтов на высоте 2200 м: *a* — общий вид купола; *б* — контакт купола и вмещающих пород.

Fig. 4. Lava dome of pyroxene andesites — andesite-basalts at an altitude of 2200 m: *a* — general view of the dome, *б* — contact part of the dome.

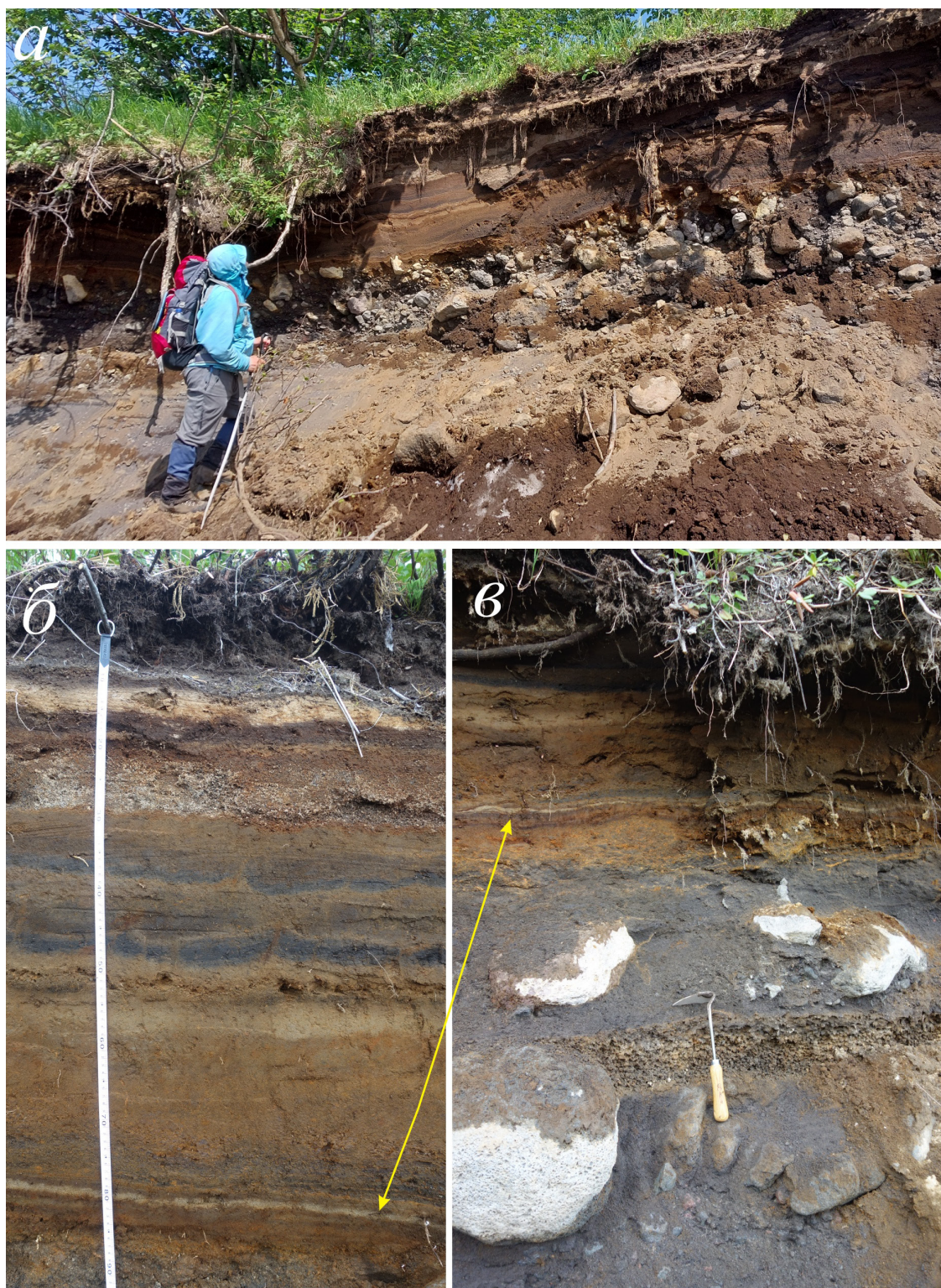


Рис. 5. Почвенно-пирокластические чехлы северных подножий Кронотского вулкана: *а* — горизонты пеплов и погребенных почв, залегающие на отложениях морены в двух километрах от фронта современного ледника; *б* — разрез почвенно-пирокластического чехла на отложениях лахаров, верхняя часть; *в* — продолжение разреза почвенно-пирокластического чехла на отложениях лахаров, нижняя часть; горизонт шлаковых лапиллей залегают между порциями лахаров. Стрелка на рисунках *б* и *в* указывает на позицию одного и того же горизонта пеплов в верхней и нижней частях разреза.

Fig. 5. Soil-pyroclastic deposits at the northern foothills of the Kronotsky Volcano: *a* — horizons of tephras and buried soils above moraine deposits two kilometers from the front of the modern glacier; *б* — soil-pyroclastic cover on lahar deposits, upper part; *в* — soil-pyroclastic cover on lahar deposits, lower part; a horizon of scoria lapilli in between portions of lahar deposits. The arrow in Figures *б* and *в* points at the same tephra horizon.

залегают между маркирующими горизонтами тефры (рис. 5б) и предположительно относятся к среднему голоцену. В одном из разрезов горизонт шлаковых лапилли «зажат» между отложениями лахара (рис. 5в). Такая позиция горизонта шлаков позволяет предполагать, что извержение могло происходить из побочного эруптивного центра на склонах стратовулкана, что и спровоцировало образование лахаров.

В результате полевых работ нами собрана представительная коллекция образцов лав и пирокластики северных склонов вулкана Кроноцкого, обнаружен и опробован ряд побочных эруптивных центров — лавовых и шлаковых конусов, найдены и отобраны несколько разновидностей гомеогенных включений и ксенолитов. Полученный материал, вместе с собранным в два предшествующих полевых сезона в 2021–2022 г., послужит основой первой детальной петролого-геохимической характеристики этого слабоизученного объекта. Кроме того, подробно описано и опробовано несколько почвенно-пирокластических разрезов, которые предположительно содержат тефру Кроноцкого вулкана. Детальное изучение химического и минерального составов тефры позволит выполнить ее точную идентификацию и, возможно, впервые предоставит возможность установить возраст недавних извержений Кроноцкого вулкана.

Мы благодарны коллегам из палеосейсмологического отряда Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН А.И. Кожурину, Т.К. Пинегин, Ф.И. Батанову и А.Л. Хомчановскому за отличное взаимодействие при совместной вертолетной заброске в район работ, Д.К. Черееву за активное участие в наших работах и А.А. Долгой за обеспечение связи между двумя отрядами при заброске.

Работы выполнены при финансовой поддержке гранта РНФ № 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/>).

Список литературы [References]

- Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Богоявленская Г.Е., Максимов А.П. Вулкан Безымянный: история формирования и динамика активности // Вулканология и сейсмология. 1990. № 2. С. 3–22 [Braitseva O.A., Melekestsev I.V., Bogoyavlenskaya G.E., Maksimov A.P. Bezymyannyi volcano: eruptive history and dynamics // Volcanology and Seismology. 1990. V. 12. № 2. P. 165–194].
- Волынец О.Н., Шека С.А., Дубик Ю.М. Оливин-анортитовые включения вулканов Камчатки и Курил. Под ред. Б.Г. Лутца, К.Н. Рудича, В.А. Ермакова. Включения в вулканических породах Курило-Камчатской островной дуги // М.: Наука. 1978. С. 124–166 [Volynets O.N., Shcheka S.A., Dubik Y.M. Olivine-anorthite inclusions of volcanoes of Kamchatka and the Kurils. Edited by B.G. Lutz, K.N. Rudich, and V.A. Ermakov. Inclusions in Volcanic Rocks of the Kuril-Kamchatka Island Arc // M.: Nauka. 1978. P. 124–166 (in Russian)].
- Горбач Н.В., Rogozin A.N., Пономарева В.В. Вулкан Кроноцкий (Восточная Камчатка): особенности строения и первые представительные данные по геохимии пород // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXV ежегодной научной конференции, посвященной Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: ИВиС, 2022. С. 30–33 [Gorbach N.V., Rogozin A.N., Ponomareva V.V. Kronotsky volcano (Eastern Kamchatka): features of the structure and the first representative data on rock geochemistry // Volcanism and related processes. Proceedings of the XXV Annual Scientific Conference devoted to the Day of Volcanologist. Petropavlovsk-Kamchatsky: IViS, 2022. P. 30–33 (in Russian)].
- 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 [Gorbach N.V., Rogozin A.N. The Geological structure and rock compositions of Kronotsky Volcano, the largest stratovolcano in the frontal zone of the East Volcanic Belt of Kamchatka // Journal of Volcanology and Seismology. 2023. V. 17. № 5. P. 374–392. <https://doi.org/10.1134/S074204632370029X>].
- Гущенко И.И. Некоторые замечания о Кроноцкой сопке и ее побочных образованиях // Бюллетень вулканологической станции. 1957. №. С. 75–80 [Gushchenko I.I. Some remarks about Kronotsky Sopka and its side formations // Bulletin of the volcanological station. 1957. №. P. 75–80 (in Russian)].
- Гущенко И.И. Вулкан Кроноцкий // В кн.: Действующие вулканы Камчатки. Т.2. М.: Наука, 1991. С. 52–57 [Gushchenko I.I. Kronotsky volcano // In the book: Active volcanoes of Kamchatka. V. 2. Moscow: Nauka, 1991. P. 58–59].
- Пonomareva В.В., Брайцева О.А. Вулканическая опасность для района Кроноцкое озеро-Узон-Долина Гейзеров // Вулканология и сейсмология. 1990. № 1. С. 27–42 [Ponomareva V.V., Braitseva, O.A. Volcanic hazards assessment in the area of Lake Kronotskoe, Uzon Caldera, and Valley of Geysers. Volcanology and Seismology. 1991. V. 12. №. 1. P. 42–69].
- Шишкина Т.А., Плечов П.Ю., Портнягин М.В. Условия формирования оливин-плагиоклазовых кумулятов вулкана Ксудач (Камчатка) // Геология и разведка. 2009. № 1. С. 8–17 [Shishkina T.A., Plechov P.Yu., Portnyagin M.V. Conditions of formation of olivine-plagioclase cumulates of the Ksudach volcano (Kamchatka) // Geology and Exploration. 2009. № 1. P. 8–17. (in Russian)].
- Фролова Т.И., Бейли Д., Бурикова И.А., Дриль С.И. О генетической общности низкремнеземистых оливин-анортитовых включений и вмещающих пород Курильской островной дуги // Тихоокеанская геология. 1988. № 5. С. 27–35 [Frolova T.I., Bailey D., Burikova I.A., Dril S.I. On the genetic community of low-silica olivine-anorthitic inclusions and host rocks of the Kuril Island Arc // Pacific Geology. 1988. № 5. P. 27–35 (in Russian)].

ПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ НА СЕВЕРНЫХ СКЛОНАХ
**FIELD WORK ON THE NORTHERN SLOPES OF KRONOTSKY VOLCANO
IN JULY–AUGUST 2023**

N.V. Gorbach¹, A.N. Rogozin¹, G.N. Ovsyannikov^{1,2}

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

²*M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, 119991*

Received September 05, 2023; revised October 17, 2023; accepted December 25, 2023

In July–August 2023, field work was carried out on the northern slopes of Kronotsky volcano in the territory of the Kronotsky State Reserve, which is rarely visited by researchers. The aim of our work was to sample lavas that build the volcanic edifice in this sector, and also to search for traces of the volcano's explosive activity in the Holocene. This report lists and illustrates interesting findings and the main results of the work. In particular, lava flows, dikes and pyroclastic horizons were sampled at altitudes ranging from 780 to 2200 m; several cinder and lava cones were discovered; samples of cognate inclusions and xenoliths were found. In addition, Holocene soil-pyroclastic sections, presumably containing tephra horizons from Kronotsky volcano, were documented in detail and sampled.

Keywords: Kronotsky volcano, basalts, geochemical evolution, cognate inclusions, tephra.