

© Автор, 2025 г.
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)



© The Author, 2025.
Content is available under Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)

УДК 551.21

<https://doi.org/10.30730/gtr.2025.9.1.073-091>
<https://www.elibrary.ru/hwyzwe>

Эксплозивная активность вулкана Атсонупури в позднем голоцене (о. Итуруп, Южные Курильские острова): предварительные результаты

А. В. Дегтерев

E-mail: d_a88@mail.ru

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

Резюме. Представлены первые результаты изучения позднеголоценовой активности влк. Атсонупури (о. Итуруп, Южные Курильские острова), полученные в ходе полевых работ 2013–2014 гг. На основе тефрохронологических исследований и радиоуглеродного датирования установлено, что в интервале 1400–800 лет назад зафиксировано по меньшей мере 4 крупных эксплозивных (эксплозивно-эффузивных) извержения (отдельных мощных извержений или серии сближенных по времени извержений). После периода напряженной эксплозивной активности вулкана последовал период покоя, начавшийся примерно 500–600 л.н. и продолжающийся до настоящего времени, что подтверждается отсутствием задокументированных извержений в историческое время. Вещественный состав ювенильной тефры влк. Атсонупури, представленной преимущественно шлаками, отвечает умеренно- и низкокалиевым базальтам и андезибазальтам. Основываясь на полученных данных, можно полагать, что в случае возобновления активности вулкана вероятны не только терминальные (субтерминальные) извержения, но и побочные прорывы.

Ключевые слова: Итуруп, вулкан Атсонупури, тephра, голоцен, радиоуглеродное датирование, эксплозивные извержения, вулканическая активность

Late Holocene explosive activity of the Atsonupuri volcano (Iturup Island, Southern Kuril Islands): preliminary results

Artem V. Degterev

E-mail: d_a88@mail.ru

Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Abstract. The first results of the study of Late Holocene activity of the Atsonupuri volcano (Iturup Island, Southern Kuril Islands) obtained during field work in 2013–2014 are presented. On the basis of tephrochronological studies and radiocarbon dating, it was established that at least 4 large explosive (explosive-effusive) eruptions (individual major eruptions or series of eruptions close in time) were recorded in the interval 1400–800 years ago. The period of intense explosive activity of the volcano was followed by a period of quiescence beginning around 500–600 BP and continuing to the present, as evidenced by the lack of documented eruptions in historical time. The material composition of the juvenile tephra of the Atsonupuri volcano, represented mainly by cinder, corresponds to moderate- and low-potassium basalts and andesite-basalts. Based on the data obtained, it can be assumed that in case of renewed activity of the volcano not only terminal (subterminal) eruptions but also side eruptions are probable.

Keywords: Iturup, Atsonupuri volcano, tephra, Holocene, radiocarbon dating, explosive eruptions, volcanic activity

Для цитирования: Дегтерев А.В. Эксплозивная активность вулкана Атсонупури в позднем голоцене (о. Итуруп, Южные Курильские острова): предварительные результаты. *Геосистемы переходных зон*, 2025, т. 9, № 1, с. 73–91. <https://doi.org/10.30730/gtr.2025.9.1.073-091>; <https://www.elibrary.ru/hwyzwe>

For citation: Degterev A.V. Late Holocene explosive activity of the Atsonupuri volcano (Iturup Island, Southern Kuril Islands): preliminary results. *Geosistemy perhodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2025, vol. 9, No. 1, pp. 73–91. (In Russ., abstr. in Engl.). <https://doi.org/10.30730/gtr.2025.9.1.073-091>; <https://www.elibrary.ru/hwyzwe>

Финансирование и благодарности

Исследования проведены в рамках НИР ИМГиГ ДВО РАН «Вулканизм Сахалина и Курильских островов: хронология, петролого-геохимические особенности, гидротермальные проявления, мониторинг вулканической активности».

Аналитические и полевые работы выполнены благодаря поддержке грантов Правительства Сахалинской области для молодых ученых в 2014 г., ДВО РАН (№ 16-I-1-039 э) и РФФИ (№ 16-35-00138 мол_а).

Автор благодарит Андрея Николаевича Кораблева, а также своих коллег из лаборатории вулканологии и вулканопасности ИМГиГ ДВО РАН за помощь в проведении полевых работ на о. Итуруп. Автор всегда будет признателен Александру Викторовичу Рыбину (1958–2024), инициатору проведения полевых вулканологических работ в труднодоступных районах Курильской островной дуги. Отдельную благодарность автор выражает рецензентам за конструктивную критику и полезные замечания, позволившие значительно улучшить качество изложения и представления данных, а также Смирнову Сергею Захаровичу (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск) за консультацию по вопросам петрохимии, ряд важных замечаний и предложений.

Введение

Действующий вулкан Атсонупури, расположенный в южной части о. Итуруп, относится к числу наименее изученных вулканов Курильской островной дуги. Сведения о нем ограничены описанием морфологии вулканической постройки [1] и несколькими результатами анализа валового состава пород [2]. Плановые геолого-вулканологические работы начала второй половины XX в. были сфокусированы в основном на вулканах северного и центрального Итурупа, вулканы же южной части острова (Стокап, Атсонупури, Берутарубе) оказались практически не затронуты исследованиями. В определенной мере это было обусловлено и тем, что на протяжении исторического времени вулканы этого района находились в состоянии покоя.

В 2013–2014 гг. в южной части о. Итуруп проведены полевые исследования кальдерообразующего извержения Львиной Пасти – мощнейшего эксплозивного извержения на Курильских островах, происходившего на рубеже плейстоцена и голоцена (рук. полевого

Funding and Acknowledgements

The research was carried out within the framework of the research project of the IMGG FEB RAS “Volcanism of Sakhalin and the Kuril Islands: chronology, petrological and geochemical features, hydrothermal manifestations, and monitoring of volcanic activity”.

The analytical and field work was supported by grants from the Government of Sakhalin Oblast for young scientists in 2014, FEB RAS (No. 16-I-1-039 э), and RFBR (No. 16-35-00138 мол_а).

The author is grateful to Andrey N. Korablev and his colleagues from the Laboratory of volcanology and volcano hazard of IMGG FEB RAS for assistance in conducting field work on Iturup Island. The author is grateful to Alexander V. Rybin (1958–2024), the initiator of volcanological field work in hard-to-reach areas of the Kuril island arc. The author would like to express his special gratitude to the Reviewer for constructive critique and for helpful comments that significantly improved the quality of the paper and data representation, and to Sergey Z. Smirnov (IGM SB RAS, Novosibirsk) for his advice on petrochemistry and a series of important comments and suggestions.

отряда – к.г.-м.н. А.В. Рыбин). Дополнительно были выполнены рекогносцировочные работы по изучению голоценовой активности влк. Атсонупури, первые результаты которых представлены в настоящей публикации.

Материалы и методы исследований

Для реконструкции голоценовой эксплозивной активности влк. Атсонупури изучен разрез почвенно-пирокластического чехла № 9/14, вскрытого в уступе размыва южной части зал. Одесский, в 4.7 км к востоку от вершины вулкана (рис. 1 а, б). Для определения возраста и вещественного состава продуктов извержений проведено детальное опробование и описание обнажения. Абсолютный возраст определен радиоуглеродным методом на факультете географии и геоэкологии Санкт-Петербургского государственного университета. В качестве материала для радиоуглеродного анализа использовались отложения погребенных почв. Для пересчета радиоуглеродных дат

в календарные применялась калибровочная программа «OxCal» (калибровочная кривая «IntCal 13» ([3]; <https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal.html>). Также в нескольких точках по периметру вулканической постройки проведено опробование лавовых потоков влк. Атсонупури и тефры его побочного шлакового конуса (рис. 1). Кроме того, из прибрежных дюн центральной части зал. Одесский (рис. 1, точка 4) были отобраны образцы шлаков (материалы А.В. Рыбина), образующие здесь два мощных, хорошо выраженных горизонта: их источником мог являться как влк. Атсонупури, так и влк. Стокап, поскольку шурф, в котором они были вскрыты, располагался ровно посередине между этими двумя вулканами (~9 км).

Химический состав образцов, представленных отложениями тефры и лавы (анализировались свежие ювенильные шлаки и лавы без следов вторичных изменений), изучался в аналитическом центре Дальневосточного геологического института ДВО РАН (г. Владивосток). Содержания H_2O , п.п.п., SiO_2 определены методом гравиметрии, FeO – методом титриметрии; остальных элементов – методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре iCAP 7600 Duo (Thermo Scientific Corporation, США), свидетельство о поверке № 001434 от 17 ноября 2015 г. Пробоподготовка к инструментальному анализу – открытое кислотное разложение ($HNO_3 + HClO_4 + HF$).

Общие сведения о вулкане Атсонупури

Вулкан Атсонупури (абс. выс. 1205 м), расположенный в южной части о. Итуруп (в ~75 км к юго-западу от г. Курильск), образует одноименный полуостров, который разделяет акватории заливов Одесский (на севере) и Доброе Начало (на юге) и соединяется с островом низким (абс. выс. 20–30 м) перешейком (рис. 1 а, б). Из-за подобной изолированности вулкан и получил свое современное название –

«Атсонупури» с айнского языка переводится как «противостоящая гора» (т.е. расположенная напротив острова) [4].

Первые сведения о геологическом строении влк. Атсонупури содержатся в фундаментальных работах Г.С. Горшкова [1, 5], который установил, что вулкан, как и многие современные вулканические аппараты Курильской островной дуги, построен по типу «Сомма-Везувий» (рисунки 1 б, 2). Однако его основные структурные элементы выражены не так ярко, как, например, на вулканах Пик Креницына (о. Онекотан, Северные Курилы) и Тятя (о. Кунашир, Южные Курилы), являющихся эталонами вулканических построек подобного типа. Постройка старого вулкана (сомма), представляющая собой стратовулкан с диаметром основания ~5 км, наилучшим образом выражена в восточном и юго-восточном секторах (рис. 2). При наблюдении с северо-запада Атсонупури имеет вид одиночного стратовулкана, не осложненного вершинной кальдерой с молодым внутренним конусом. «Сомма» выглядит довольно свежо и практически не затронута эрозией, что позволяет сделать вывод о ее сравнительно молодом возрасте – вполне вероятно, что образовалась она в позднем плейстоцене – голоцене. Ее гребень, имеющий вид подковы, открытой на запад, наиболее четко выражен в восточном секторе, где достигает максимальной высоты, постепенно понижаясь в западном направлении. По всей видимости, западная часть постройки была разрушена секторным обвалом (Г.С. Горшков [1] выделял здесь сброс северо-западного простирания), сопряженным с формированием вершинной кальдеры* диаметром ~1.8 км.

В пределах вершинной кальдеры расположена постройка молодого вулкана, представляющего собой относительно небольшой (280–300 м) стратовулканический конус. Его вершина увенчана кратером размером 500 × 400 м, вытянутым на северо-восток (рисунки 1, 2). В северо-западном и северо-восточном направлениях от его кромки до отметки ~350–400 м н.у.м. протягиваются две крупные

* В настоящей публикации применительно к влк. Атсонупури мы используем вслед за Г.С. Горшковым [1] термин «кальдера», хотя правомерность использования подобного термина дискуссионна из-за размера и неустановленного генезиса этого объекта, и, возможно, более уместно квалифицировать его как кратер.

(~1250 × 450 м) рытвины типа «шарра», а также несколько барранкосов. Лавово-пирокластические образования внутреннего конуса почти полностью перекрывают полость кальдеры, а также значительную часть западного сектора вулканической постройки старого вулкана. На одном из участков здесь обнажается «живая» осыпь из свежих вулканических шлаков и бомб, общей протяженностью ~1850 м (от

вершины до побережья), с которой периодически скатываются фрагменты разноразмерного обломочного материала (некоторые обломки достигают в поперечнике 20–30 см и более).

По периферии постройки влк. Атсонупури расположен ряд шлаковых конусов (рис. 3 а–д), связанных с побочными извержениями, что характерно для вулканов, продуцирующих магмы основного состава (Алаид, Тятя). Постройка

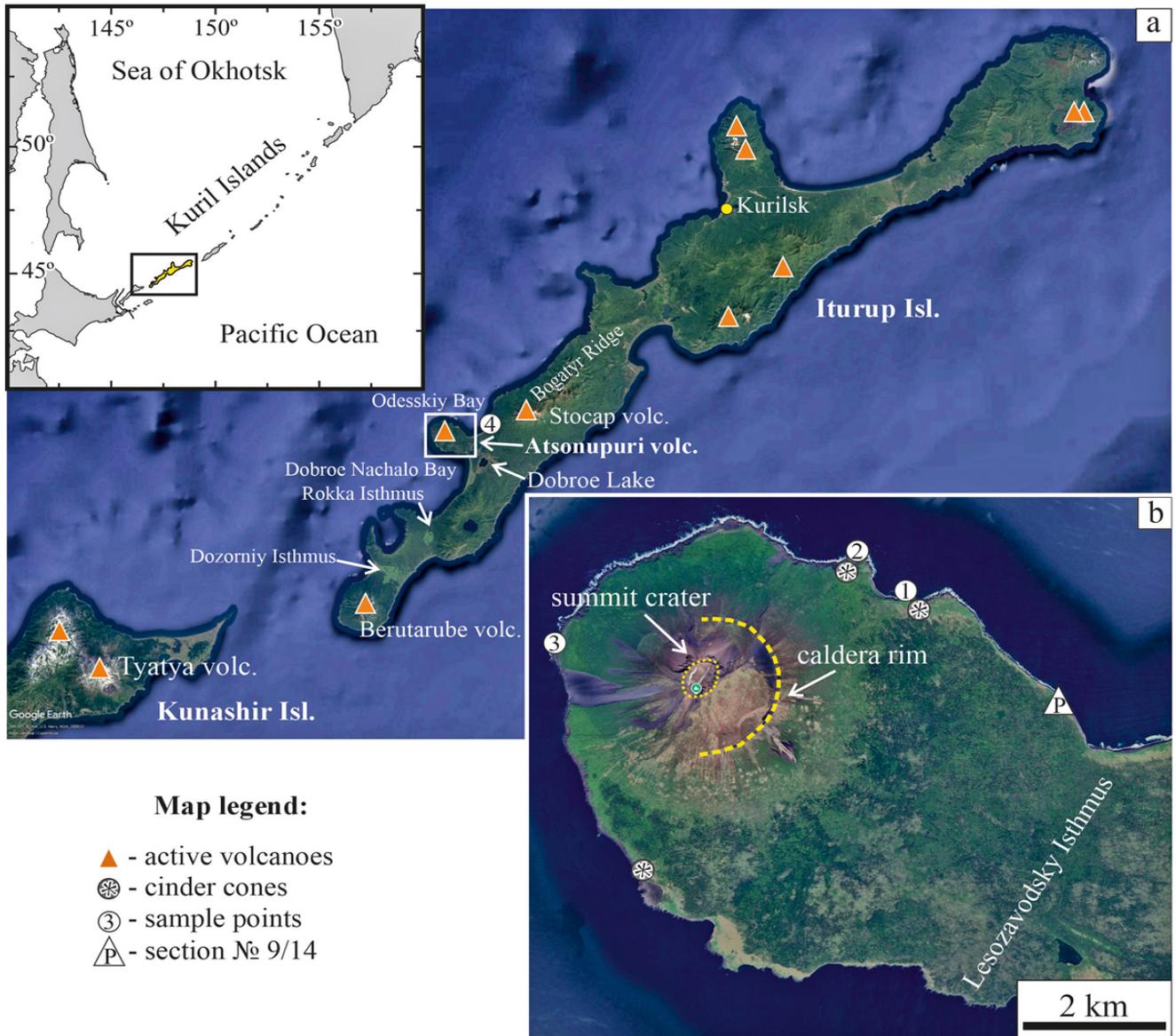


Рис. 1. Район исследований. (а) Географическое положение о. Итуруп в системе Курильской островной дуги. (б) Основные структурные элементы влк. Атсонупури и точки опробования тefры и лав: 1 – P38/13 (лава), P39/13 (шлак побочного конуса), 2 – P81/14, P82/14, P83/14, P84/14 (лава), 3 – P85/14 (лава), 4 (см. (а)) – P250/14, P251/14 (шлак из дюн). Крупным пунктиром на врезке показаны выделяющиеся в рельефе границы кальдеры, мелким – вершинный кратер. Разрез № 9/14 отмечен треугольником. Использованы снимки Google Earth.

Fig. 1. The study area. (a) Geographical position of Iturup Island in the Kuril island arc system. (b) Basic structural elements of the Atsonupuri volcano and tephra and lava sampling points: 1, P38/13 (lava), P39/13 (cinder from the side cone); 2, P81/14, P82/14, P83/14, P84/14 (lava); 3, P85/14 (lava); 4 (see (a)), P250/14, P251/14 (cinder from the dunes). Large dotted line in the inset indicates the caldera rim encountered in the relief; small dotted line indicates the summit crater. Section 9/14 is marked with a triangle. Google Earth imagery used.

первого из них расположена на побережье, в 2.7 км к восток-северо-востоку от вершины вулкана (рис. 3 а). Судя по спутниковым снимкам и фотоматериалам, полученным в ходе полевых рекогносцировочных исследований, она образована двумя слившимися шлаковыми конусами высотой 60–70 м (рис. 3 а), на вершинах которых просматриваются очертания кратеров. В ~900 м к северо-западу от первого расположен второй шлаковый конус (рис. 3 d). Его постройка не имеет четких очертаний конусовидной формы и «рельефной» вершины с кратером, однако демонстрирует характерное периклинальное залегание отложений шлака, вскрытых под воздействием волно-прибойных процессов (рис. 3 d). Еще один, третий, шлаковый конус находится в южном секторе вулканической постройки – в 2.8 к юго-юго-западу от кратера (рис. 3 b, c). Судя по их относительно хорошей сохранности, можно предположить, что их формирование происходило в среднем или позднем голоцене.

Вещественный состав пород влк. Атсонупури изучен слабо и ограничивается данными работы [2], согласно которой породы вулкана представлены базальтами и, в меньшей степени, андезибазальтами (мас.%): SiO_2 47.09–52.41, K_2O 0.42–0.59, Na_2O 1.75–2.88.

Подводя итог описанию морфологии влк. Атсонупури, следует отметить, что его по-

стройка в целом выглядит довольно молодо: она практически не тронута эрозией, имеет хорошо выраженный вершинный кратер (рис. 1 а), ряд шлаковых конусов (рис. 3 а–d), связанных с побочными извержениями, и характеризуется развитием относительно свежих продуктов активности – лав и шлаков (рис. 4 а–d). В то же время общий облик вулкана заметно отличается от наиболее активных вулканов региона, таких как Чикурачки (о. Парамушир, Северные Курилы) или Пик Сарычева (о. Ма-туа, Центральные Курилы): их почти черные, покрытые плащом свежих шлаков конусы совершенно лишены растительности, что указывает на постоянную эруптивную активность, в условиях которой устойчивый почвенно-растительный покров не успевает сформироваться [6]. Вулкан Атсонупури, напротив, практически до вершины (частично и кратер) покрыт почти сплошными зарослями из молодого бамбучника, ольхового кустарника и травянистой растительности. Таким образом, Атсонупури имеет вид вулкана, который был очень активен раньше, но последние 500–600 лет находится в состоянии покоя. За это время на нем успел сформироваться устойчивый почвенно-растительный покров. Это согласуется с отсутствием сведений о проявлениях активности вулкана в историческое время. Итуруп всегда был

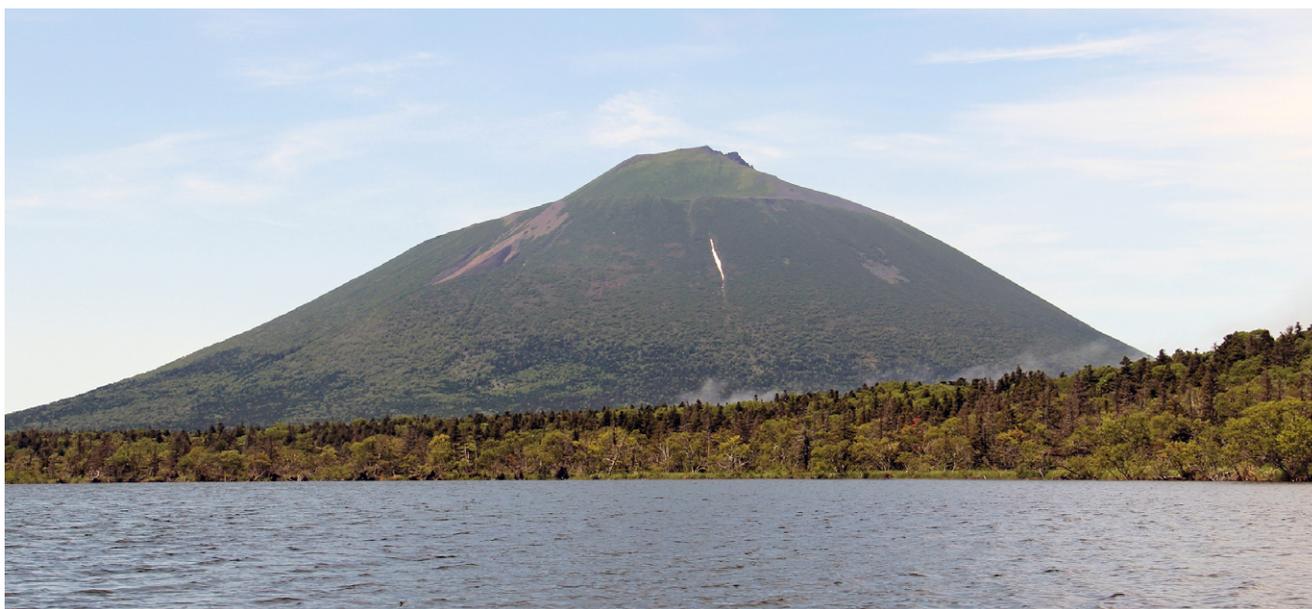


Рис. 2. Вулкан Атсонупури, вид с юго-востока (район оз. Лесозаводское), июль 2014 г. Фото А.В. Дегтерева

Fig. 2. The Atsonupuri volcano, view from the southeast (Lesozavodskoye Lake area), July 2014. Photo by A. Degterev

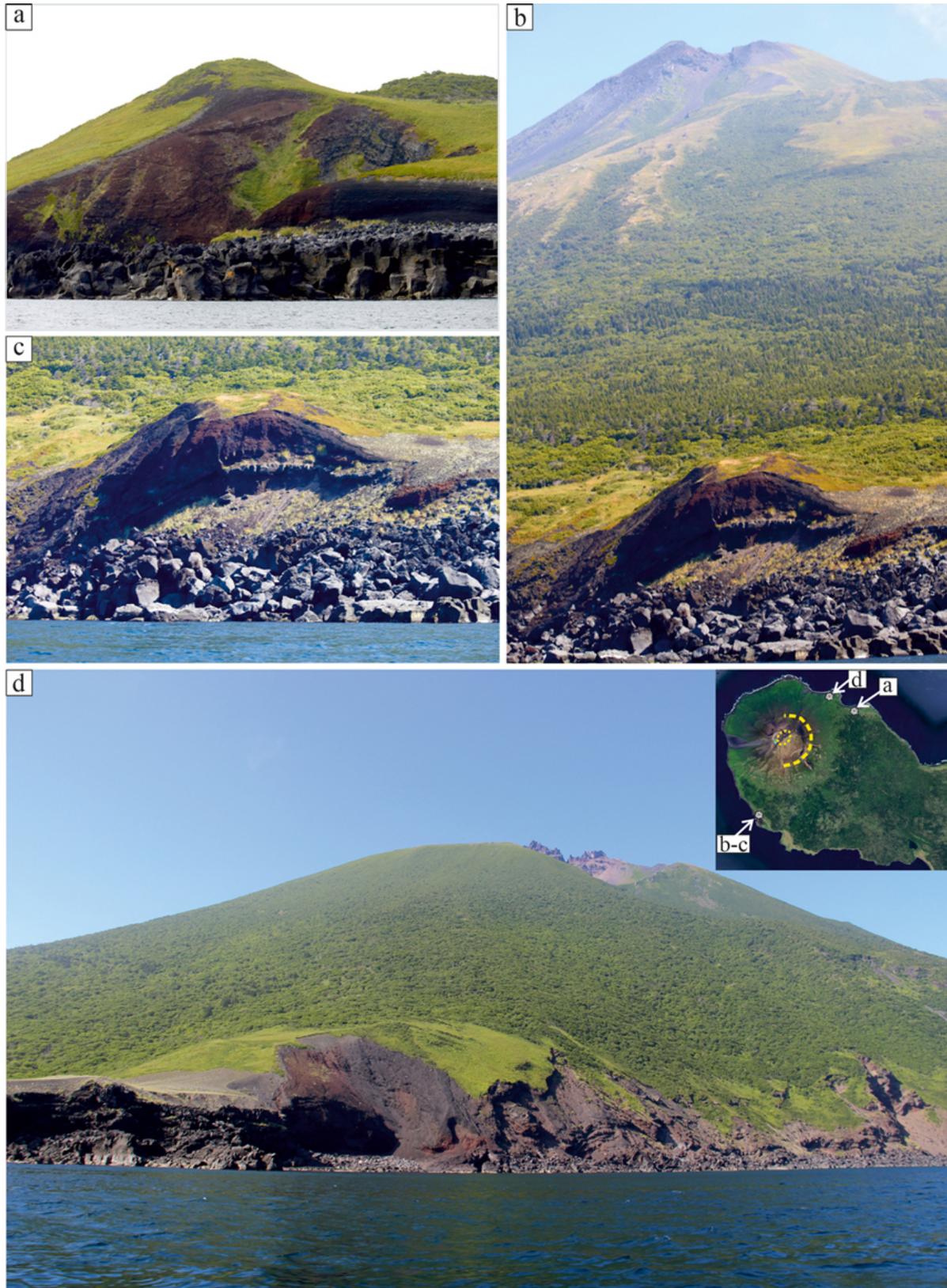


Рис. 3. Шлаковые конусы в восток-северо-восточном (a, d) и юго-юго-западном (b, c) секторах подножья влк. Атсонупури. На врезке показано географическое положение шлаковых конусов в соответствии с буквенной нумерацией фотоснимков. Фото А.В. Дегтерева (a, d), В.Б. Гурьянова (b, c).

Fig. 3. Cinder cones in the east-northeast (a, d) and south-southwest (b, c) sectors at the foot of the Atsonupuri volcano. The inset shows the geographical position of the cinder cones according to the letter numbering of the photographs. Photos by A. Degterev (a, d) and V. Guryanov (b, c).

наиболее заселенным островом Курильской гряды, поэтому маловероятно, что происходившие извержения и/или их последствия могли оставаться незамеченными.

В работах [1, 5] сообщается об извержениях вулкана в 1812 (?) и 1932 гг. Событие 1812 г. упоминается в них со ссылкой на сообщение капитана П.И. Рикорда*, однако из записок В.М. Головнина [7] ясно, что речь шла о другом вулкане. 24 августа 1812 г. капитан Рикорд с борта шлюпа «Диана», стоявшего на рейде о. Шикотан, наблюдал извержение (проявление повышенной активности?) влк. Тятя на сосед-

нем о. Кунашир, о чем сообщил: «Изъ вершины Кунаширского пика, Японцами называемо-го Чачанобури (вулкан Тятя. – Прим. автора), увидѣли мы выходящій дымъ, чего въ прошломъ годѣ нами примѣчено не было» [7, с. 130].

Сведения о слабом извержении 1932 г. в доступных литературных источниках отсутствуют, информация о нем Г.С. Горшковым [1] была получена со слов местных жителей. Также сообщалось о том, что сейсмостанция «Лесозаводск», расположенная на перешейке, периодически фиксировала серии слабых землетрясений под вулканом [1]. В 2018 г.

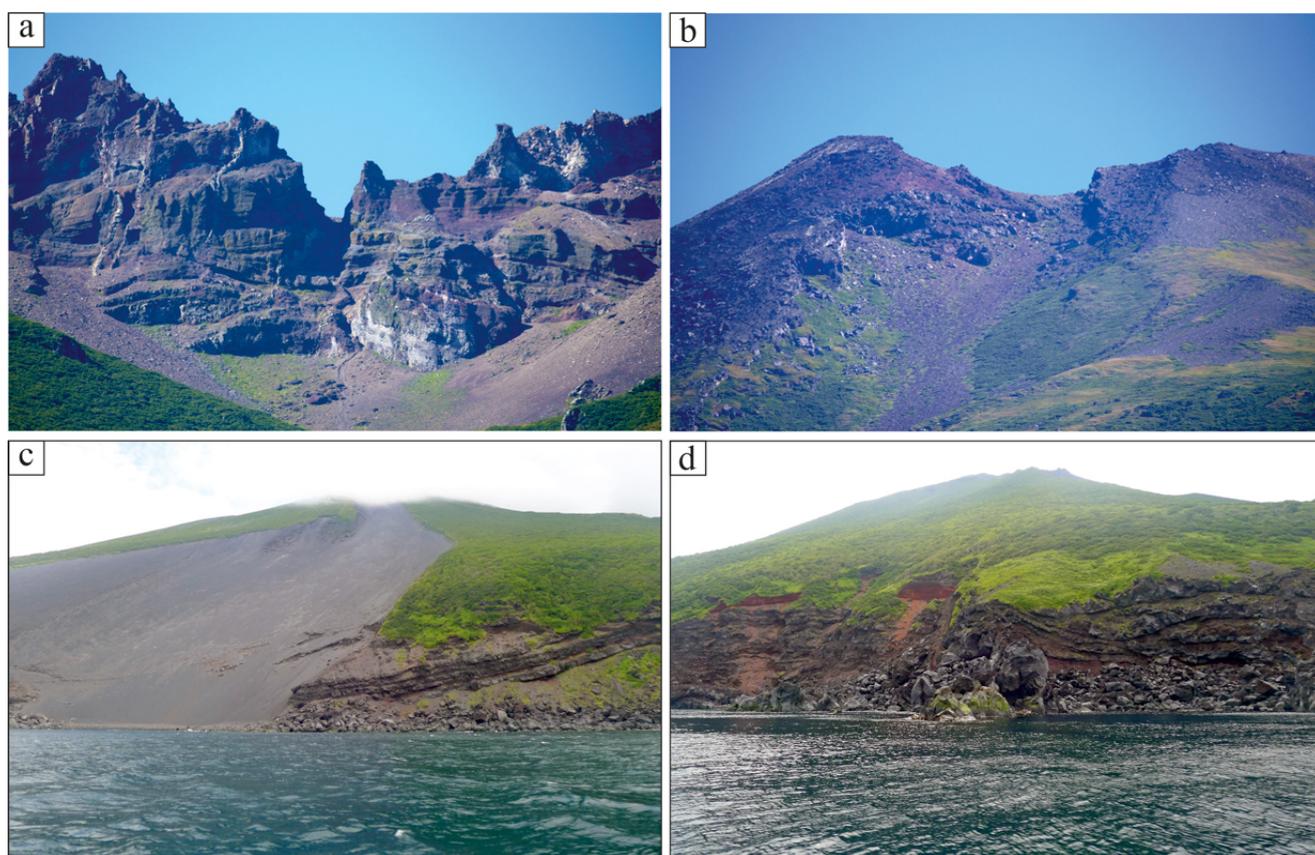


Рис. 4. Лавово-пирокластические отложения влк. Атсонупури: (а) «воротник» прикратерной зоны, образованный переслаивающимся горизонтами лав и шлаков; в левой части снимка видна серия даек (вид с северо-запада); (б) вершинная часть вулкана, юго-западный сектор; (с) шлаковая осыпь на западном склоне постройки; (д) береговые обнажения, вскрывающие структуру стратовулкана в запад-юго-западном секторе подножья: многочисленные, относительно свежие лавовые потоки чередуются с пачками пирокластики; в центре на переднем плане видно, как молодые лавово-пирокластические толщи облекают более древние эффузивные образования. Фото В.Б. Гурьянова (а, б), Н.Г. Разжигайевой (с, д).

Fig. 4. Lava and pyroclastic deposits of the Atsonupuri volcano: (a) the “collar” of the crater zone formed by interlaced horizons of lavas and cinder, with a series of dikes visible in the left part of the image (view from the northwest); (b) the summit of the volcano, southwestern sector; (c) cinder scree on the western slope of the edifice; (d) coastal outcrops revealing stratovolcano structures in the west-southwestern sector of the footwall: numerous, relatively fresh lava flows alternate with pyroclastic beds; in the centre foreground, young lava and pyroclastic sequences can be seen encasing older effusive formations. Photo by V. Guryanov (a, b), N. Razhigayeva (c, d).

* П.И. Рикорд принял командование шлюпом «Диана» после «инцидента с В.М. Головниным» в 1811 г., когда вице-адмирал был пленен японцами на о. Кунашир [7].

каких-либо проявлений газогидротермальной (сульфатарной) активности в вершинном кратере вулкана и/или на склонах его постройки не было отмечено (по устному сообщению сотрудника лаборатории вулканологии и вулканопасности ИМГиГ ДВО РАН Ф.А. Романюка, совершившего восхождение на вулкан с целью изучения современного состояния кратерной зоны и геоботанических исследований).

Результаты и обсуждение

В результате изучения разреза почвенно-пирокластического чехла № 9/14 (рис. 1) были получены первые данные об эксплозивной активности влк. Атсонупури в позднем голоцене (рисунки 5, 6 а, б). Большая часть тефры из этого разреза ввиду значительной крупности и мощности горизонтов заведомо считалась «местной», так как все активно действующие вулканы с аналогичным составом продуктов (низко- и умеренно-калиевые базальты и андезибазальты) находятся на значительном удалении – ближайшим потенциальным источником является влк. Тятя, расположенный в 90 км к юго-западу на о. Кунашир. Однако при проведении полевых работ по изучению кальдерообразующего извержения Львиной Пасти (2013, 2014, 2016–2017 гг.), в ходе которых изучались почвенно-пирокластические чехлы перешейков Рокка и Дозорный (рис. 1), перекрывающие кислую проксимальную пирокластику кальдеры, мощных горизонтов тефры основного состава, которые могли соотноситься с деятельностью влк. Тятя, обнаружено не было. Вулкан Берутарубе, расположенный на самом юге острова (~40 км) (рис. 1), в качестве потенциального источника позднеголоценовой тефры в пределах исследуемого района не рассматривался, так как его постройка в значительной мере эродирована, свежие продукты и вулканические формы рельефа (кратеры, взрывные воронки, лавовые потоки, пирокластические покровы) отсутствуют. Кроме того, его породы по составу значительно отличаются от продуктов извержений влк. Атсонупури [2].

Ближе всего к исследуемому разрезу расположен влк. Стокап (~12 км), который является самым высоким вулканом о. Итуруп

(абс. выс. 1634 м). Он представляет собой сложное вулканическое сооружение, состоящее из нескольких разновозрастных построек, формирующих южную часть хр. Богатырь (рис. 1). Его склоны рассечены множеством глубоких барранкосов, а привершинная часть характеризуется обилием гидротермально измененных пород. Однако на вершине расположены несколько довольно свежих кратеров и шлаковый конус к северо-востоку от главной (географической) вершины, указывающие на вероятное проявление эруптивной деятельности в голоцене. При этом современные прецизионные данные по составу его пород отсутствуют. Поэтому нельзя полностью исключать возможность присутствия его тефры в почвенно-пирокластическом чехле, окаймляющем подножье влк. Атсонупури.

Принадлежность исследуемой тефры к влк. Атсонупури подтверждается геохимическим «родством» его изверженных пород, предполагающим тождество составов тефры (шлаков и пеплов, заключенных в почвенно-пирокластическом чехле подножья вулкана) и лавовых потоков, опробованных на периферии вулканического конуса (на основе данных как по петрогенным окислам, так и по микро- и редкоземельным элементам; см. таблицу в приложении).

Тефра влк. Атсонупури представлена отложениями черных и темно-коричневых шлаков и грубых пеплов (вулканических песков), образующих горизонты различной крупности и мощности (рис. 6 б). Преобладают относительно мощные (≤ 10 см) горизонты тефры из вулканического гравия и лапиллей с примесью разнозернистых пеплов, образующие как отдельные слои, так и мелко стратифицированные пачки (рис. 5), отвечающие продолжительным и, вероятно, очень мощным периодам эксплозивной активности (или серии сближенных по времени извержений). Некоторые слои характеризуются наличием нормальной или обратной градиционной слоистости. Большинство из них образованы ювенильным материалом, но в ряде пачек присутствует примесь резургентной «дробленки» (рис. 6). Структура обломков микропорфировая или афировая с вкрапленниками плагиоклаза (~20 %). Пороодообразующие минералы пред-

ставлены плагиоклазом, орто- и клинопироксеном, оливином, титаномagnetитом.

Ряд горизонтов, учитывая мощность и крупность материала, мог быть связан с извержениями побочных конусов, расположенных по периферии влк. Атсонупури (рисунки 1, 3). Однако проследить изменение мощностей слоев тефры от разреза к разрезу по мере удаления/приближения к источнику не удалось из-за вынужденных ограничений по времени.

Для определения абсолютного возраста горизонтов тефры и оценки частоты извержений влк. Атсонупури выполнено радиоуглеродное датирование погребенных почв, подстилающих отложения шлаков. Получены две радиоуглеродные датировки, соответствующие позднему голоцену: 1610 ± 50 (калиброванный возраст: 1490 ± 60 лет до 1950 г. (ЛУ-7806)) и 1050 ± 80 (кал. возраст: 970 ± 100 лет до 1950 г. (ЛУ-7828)). Кроме того, возрастным репером 1739 г.н.э. являлся пепел Та-а, связанный с плинианским извержением влк. Тарумаэ (о. Хоккайдо, Япония), повсеместно распространенный на о. Итуруп [8–13] и являющийся здесь своеобразной геологической вехой между извержениями исторического и доисторического этапов вулканической активности.

На основе изучения последовательности слоев тефры из почвенно-пирокластического чехла и радиоуглеродных датировок было установлено, что за последние 1400 лет произошло не менее четырех достаточно сильных эксплозивных (эксплозивно-эффузивных?) извержений влк. Атсонупури, оставивших

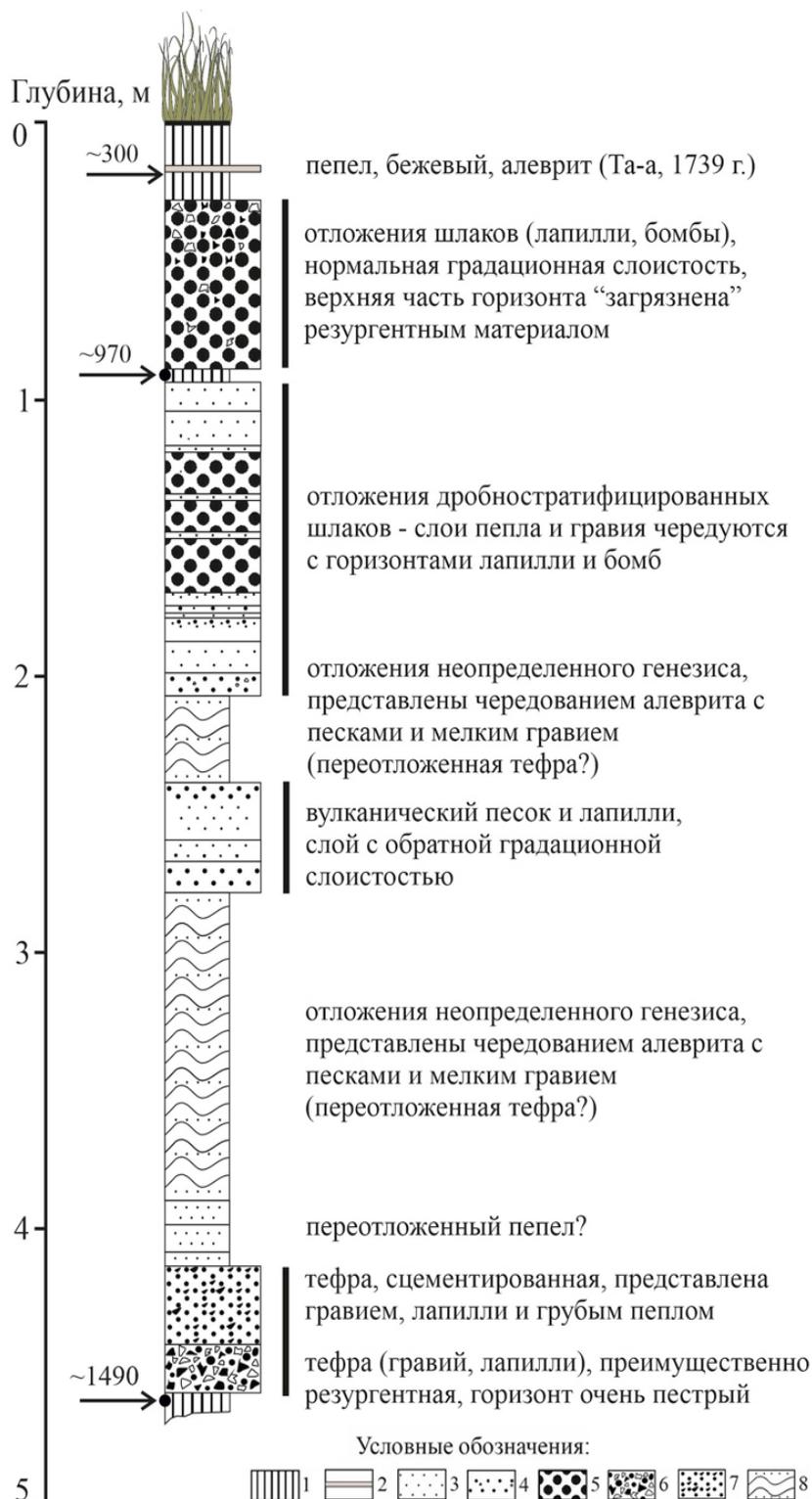


Рис. 5. Разрез почвенно-пирокластического чехла № 9/14. Цифры слева соответствуют калиброванным значениям радиоуглеродного возраста; справа приведено краткое описание отложений. Черные вертикальные линии справа от колонки отвечают отдельным сильным извержениям или этапам активизации (сближенной по времени серии извержений) эруптивной деятельности влк. Атсонупури.

Fig. 5. Section of the soil and pyroclastic cover 9/14. Numbers on the left correspond to calibrated radiocarbon ages; on the right – a brief description of sediments is given. Black vertical lines to the right of the column correspond to individual large eruptions or activation phases (series of eruptions close in time) of the Atsonupuri volcano.

геологические следы в восточном секторе вулканической постройки. Наиболее сильное из них происходило ~1100–1000 л.н. (ниже почвы с кал. возрастом 970 ± 100 лет; рис. 5), состоявшее из серии крупных эксплозивных событий, оставивших мощные пачки шлаков. Не исключено, что количество извержений было больше (до ~6–8), если отождествлять последовательные слои тефры с отдельными, сближенными по времени вулканическими событиями (этапами активизации эруптивной активности), в течение которых не успели сформироваться палеопочвы, маркирующие паузы в работе вулкана. Кроме того, наше исследование было ограничено изучением одного частного разреза, находящегося к востоку от действующего вулкана, без учета данных по другим разрезам (рис. 1), расположенным по периферии вулканической постройки.

Распределение извержений влк. Атсонупури во времени обнаруживает крайне «неравномерный» характер: абсолютно все зафиксированные в почвенно-пирокластическом чехле

эксплозивные события произошли в интервале ~1400–800 л.н., т.е. на протяжении 600 лет вулкан извергался в среднем каждые 150 лет (рис. 5). При этом, по имеющимся к настоящему времени геологическим и историческим данным, последние 500–600 лет он находился в состоянии покоя.

При проведении палеосейсмологических и палеогеографических работ в июле–августе 2022 г. [9], в ходе которых изучались торфяники и почвенно-пирокластические чехлы в 10–12 км к юго-востоку от влк. Атсонупури (район оз. Лесозаводское и протоки Тихая; рис. 1), никаких следов эксплозивных извержений за последние сотни лет не найдено. Вся обнаруженная тефра в этом районе залегала существенно ниже маркирующего пеплового прослоя Та-а (1739), отделяясь от него погребенной почвой, поэтому возраст наиболее молодых шлаков, которые потенциально могли бы ассоциироваться с активностью влк. Атсонупури, здесь не может быть меньше 400–600 лет.



Рис. 6. Общий вид разреза № 9/14. Отмечены точки отбора погребенных почв для проведения радиоуглеродного анализа, приведены лабораторный индекс и значения радиоуглеродного возраста. Фото А.В. Рыбина

Fig. 6. A general view of section 9/14. The locations of buried soil sampling for radiocarbon analysis are marked; the laboratory index and radiocarbon age are given. Photo by A. Rybin

Химический состав ювенильной пирокластической влк. Атсонупури представлен умеренно- и низкокальциевыми базальтами и андезибазальтами толеитовой серии с содержанием (мас.%): SiO_2 47.05–56.35, K_2O 0.30–0.72, Na_2O 1.99–3.35 (рис. 7 а–d; см. таблицу в приложении). Лавовые потоки относятся к тем же петрохимическим сериям (рис. 7 а–d), однако в целом они имеют меньший диапазон вариаций составов по сравнению с тефрой: SiO_2 48.86–53.47, K_2O 0.35–0.61, Na_2O 2.06–3.19 (см. таблицу в приложении). При этом по соотношению CaO ,

TiO_2 , Na_2O в зависимости от содержания SiO_2 породы вулкана образуют две группы, в каждую из которых входит как тефра, так и лава, что имеет петрогенетические причины и требует специального исследования.

Сравнение макроэлементного состава продуктов извержений влк. Атсонупури и соседних вулканов (Стокап, Берутарубе (о. Итуруп), Тятя (о. Кунашир)) обнаруживает следующие особенности. По сравнению с остальными вулканами южного Итурупа изверженные породы Атсонупури характеризуются

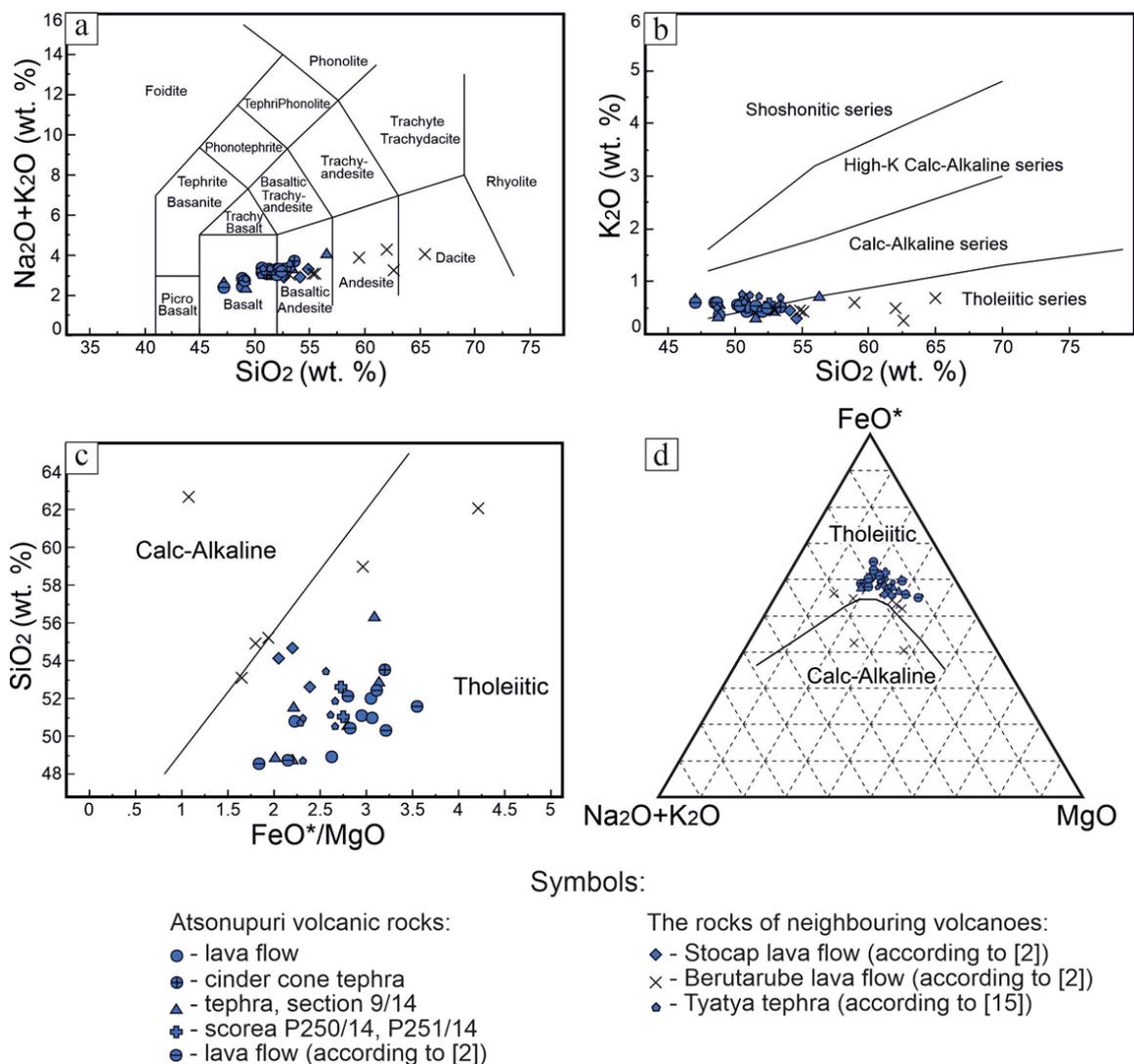


Рис. 7. Классификационные диаграммы для изверженных пород влк. Атсонупури и соседних вулканов (Стокап, Берутарубе, Тятя): (а) TAS-диаграмма ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$) в соответствии с классификацией вулканических пород [16]; (б) диаграмма $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ по [17]; (с) диаграмма $\text{SiO}_2 - \text{FeO}^*/\text{MgO}$ по [18]; (д) АФМ-диаграмма ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} - \text{FeO}^* - \text{MgO}$) по [19]. Местоположение точек отбора приведено на рис. 1.

Fig. 7. The classification diagrams for igneous rocks of the Atsonupuri volcano and neighbouring volcanoes (Stocap, Berutarube, and Tyatya): (a) TAS-diagram ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$) according to the classification of volcanic rocks [16]; (b) $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ diagram according to [17]; (c) $\text{SiO}_2 - \text{FeO}^*/\text{MgO}$ diagram according to [18]; (d) AFM-diagram ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} - \text{FeO}^* - \text{MgO}$) according to [19]. The location of the sampling points is given in Fig. 1.

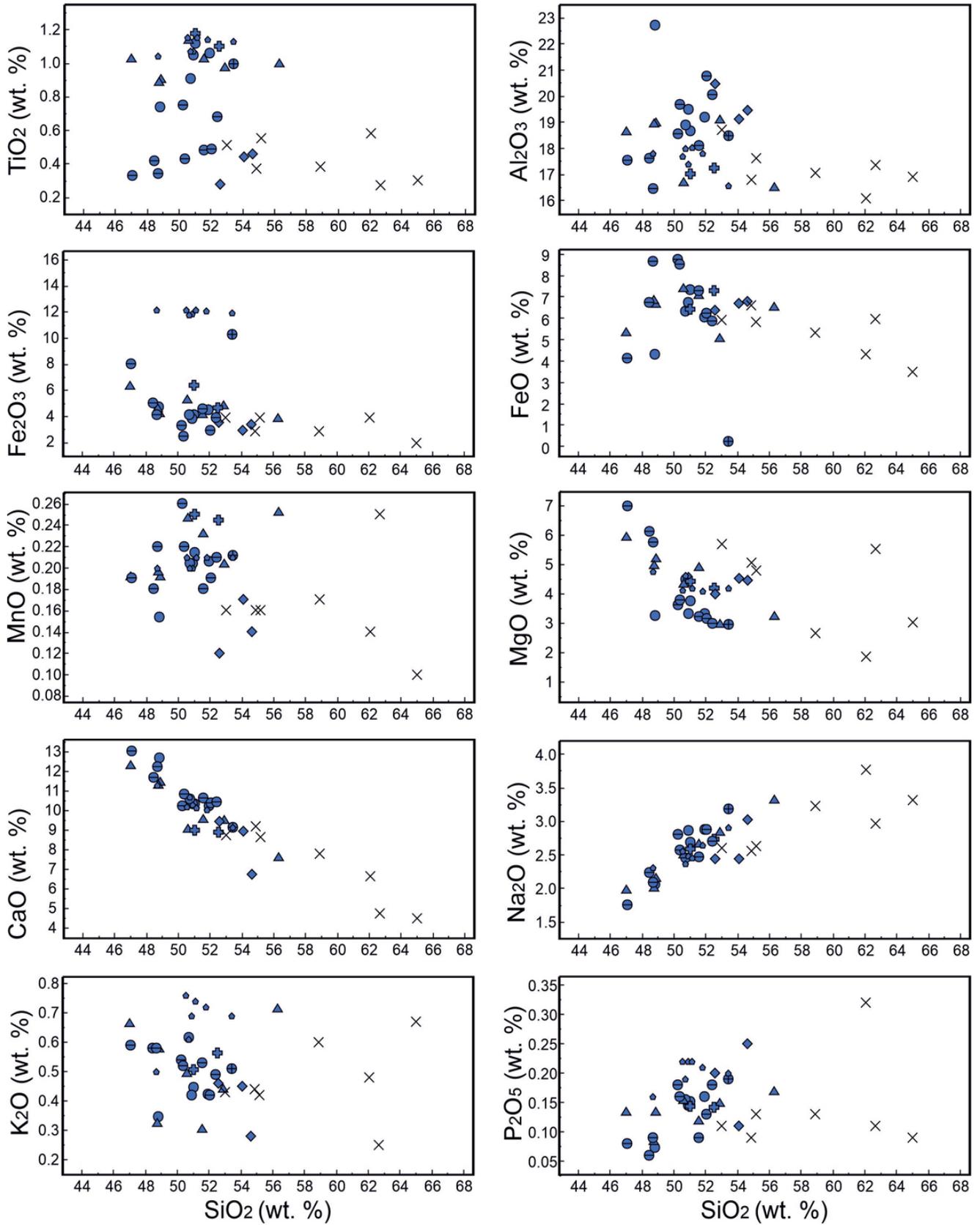


Рис. 8. Диаграммы Харкера для изверженных пород влк. Атсонупури и соседних вулканов (Стокап, Берутарубе, Тятя). Условные обозначения приведены на рис. 6.

Fig. 8 Harker diagrams for igneous rocks of the Atsonupuri volcano and neighbouring volcanoes (Stokap, Berutarube, and Tyatya). The symbols are given in Fig. 6.

наиболее низким содержанием SiO_2 и K_2O (рис. 7), повышенными содержаниями FeO , TiO_2 , CaO , MnO (рис. 8). Явно прослеживающиеся по данным работы [2] на вариационных диаграммах (рис. 8) пониженные значения TiO_2 в породах Стокапа, Атсонупури и Берутарубе, вероятно, связаны с аналитической ошибкой определения этого элемента.

Для продуктов извержений влк. Атсонупури характерно накопление Al_2O_3 по мере увеличения содержания SiO_2 , в то время как большинство пород при близкой концентрации MgO имеет тенденцию к уменьшению концентраций глинозема (это видно по составам лавовых потоков влк. Берутарубе, которые образуют более длинную серию, чем эффузивы влк. Стокап (рисунки 7, 8)). На диаграммах Харкера тефра и лавы влк. Атсонупури демонстрируют определенное сходство с изверженными породами

вулканов Стокап и Тятя (рис. 8). Высокое содержание CaO сближает породы Атсонупури с изученными продуктами извержения Стокапа. Однако недостаточное количество аналитических данных в отношении глинозема не позволяет говорить о систематическом сходстве составов этих вулканов. Существенные петрохимические отличия от всех вышеназванных вулканов имеет влк. Берутарубе, характеризующийся наиболее кислым составом лав, часть которых отвечает известково-щелочной серии (рис. 7 a–d). Это следует учитывать при проведении тефрохронологических работ и поиске потенциальных источников тефры в данном районе.

Спектры распределения нормированных значений редкоземельных и микроэлементов в изверженных породах влк. Атсонупури имеют характерный для островодужных вулканитов профиль кривой (рис. 9 a–d).

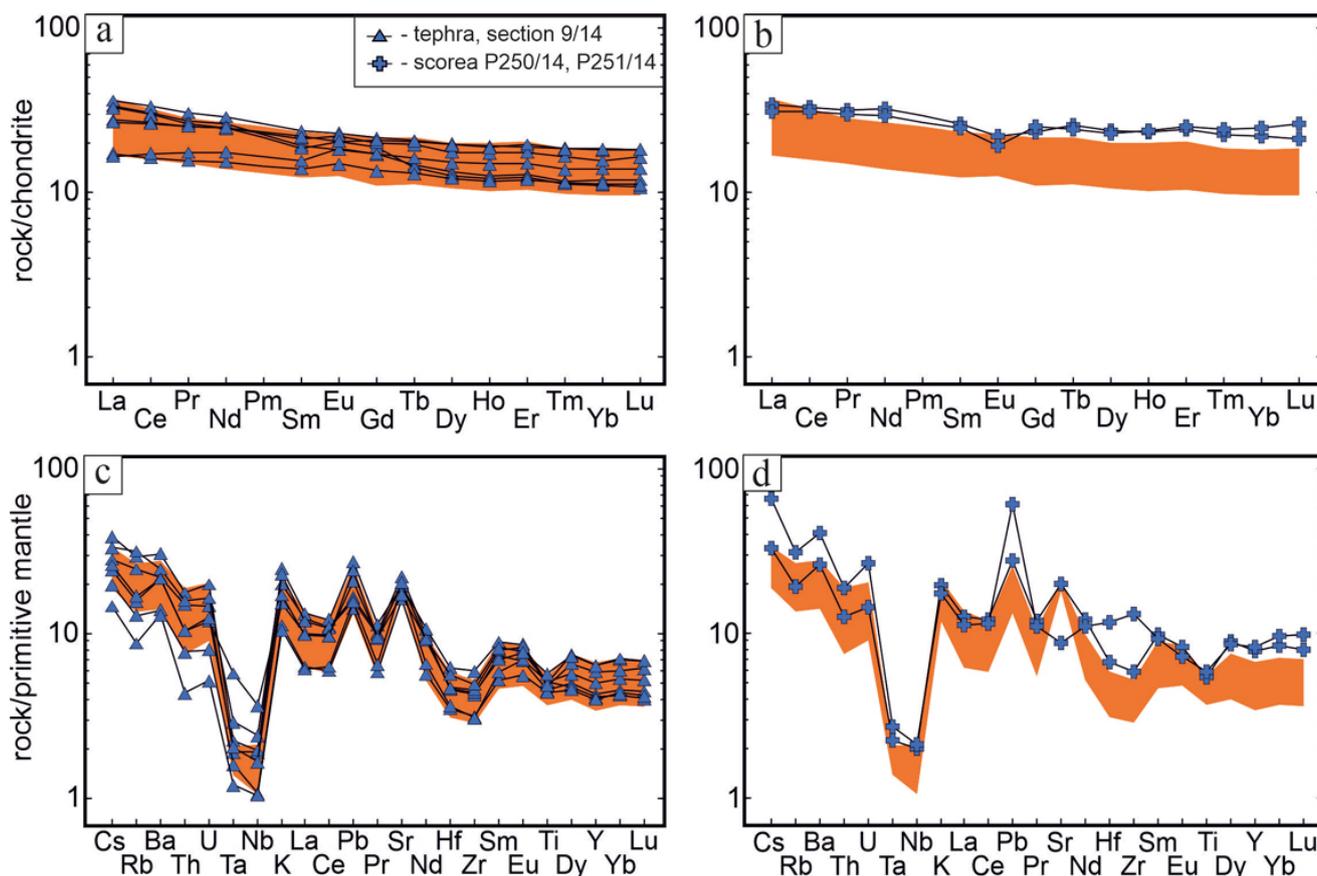


Рис. 9. Спектры распределения редкоземельных (a, b) и микроэлементов (c, d) в изверженных породах влк. Атсонупури, нормализованные к хондриту (a) [20] и примитивной мантии (b) [21], соответственно. Заливкой кирпичного цвета выделены области, соответствующие составам лавовых потоков влк. Атсонупури.

Fig. 9. The distribution spectrums of rare earths (a, b) and trace-elements (c, d) in the igneous rocks of the Atsonupuri volcano normalised to chondrite (a) [20] and primitive mantle (b) [21], respectively. The brick-coloured fill corresponds to the composition of the lava flows of the Atsonupuri volcano.

Образцы тефры из разреза № 9/14 и лавовых потоков влк. Атсонупури обнаруживают практически полную идентичность составов в отношении содержания элементов-примесей (рис. 9 а, с), что является одним из свидетельств единства их магматического источника. Образцы шлаков P250/2014 и P251/2014 из дюнного комплекса зал. Одесский (рис. 1, точка 4), напротив, заметно отличаются от нормированных значений тефры из разреза № 9/14

и лав влк. Атсонупури. Для них характерно наличие слабой отрицательной европиевой аномалии, более высокие концентрации тяжелых лантаноидов и высокозарядных элементов (рис. 9 b, d). На вариационных диаграммах зависимости концентраций Pb, Y, Sc (г/т) от содержания SiO₂ (мас.%) фигуративные точки образцов шлаков P250/2014 и P251/2014 также заметно отделены от состава тефры и лав влк. Атсонупури (рис. 10). Полученные данные указывают на то, что источником этих шлаков мог являться влк. Стокап (рис. 1). Для проверки этого предположения необходимо проведение дополнительных работ в этом районе.

Заключение

За историческое время на влк. Атсонупури достоверно не зафиксировано ни одного извержения. На основе тефростратиграфических и радиоизотопных исследований разреза почвенно-пирокластического чехла в восточном секторе вулканической постройки отмечено по меньшей мере четыре крупных эксплозивных (эксплозивно-эффузивных?) извержения (или серии сближенных по времени извержений), происходивших в интервале 1400–800 л.н.

После периода интенсивной эксплозивной активности вулкана последовал период покоя, начавшийся примерно 500–600 л.н. и продолжающийся, вероятно, до текущего момента, что подтверждается отсутствием сведений о задокументированных извержениях в историческое время. Составить объективный долгосрочный прогноз активности вулкана на основе имеющихся предварительных данных невозможно. К тому же нет точных данных о длительности и цикличности пауз в деятельности вулкана (предыдущий период активности вулкана длился порядка 600 лет, внутри которого перерывы между извержениями составляли приблизительно от нескольких десятков до сотен лет). Это следует учитывать при проведении мониторинга вулканической активности на Курильских островах. В случае активизации вулкана, учитывая эксплозивный характер его деятельности, потенциальные извержения могут представлять угрозу для ави-

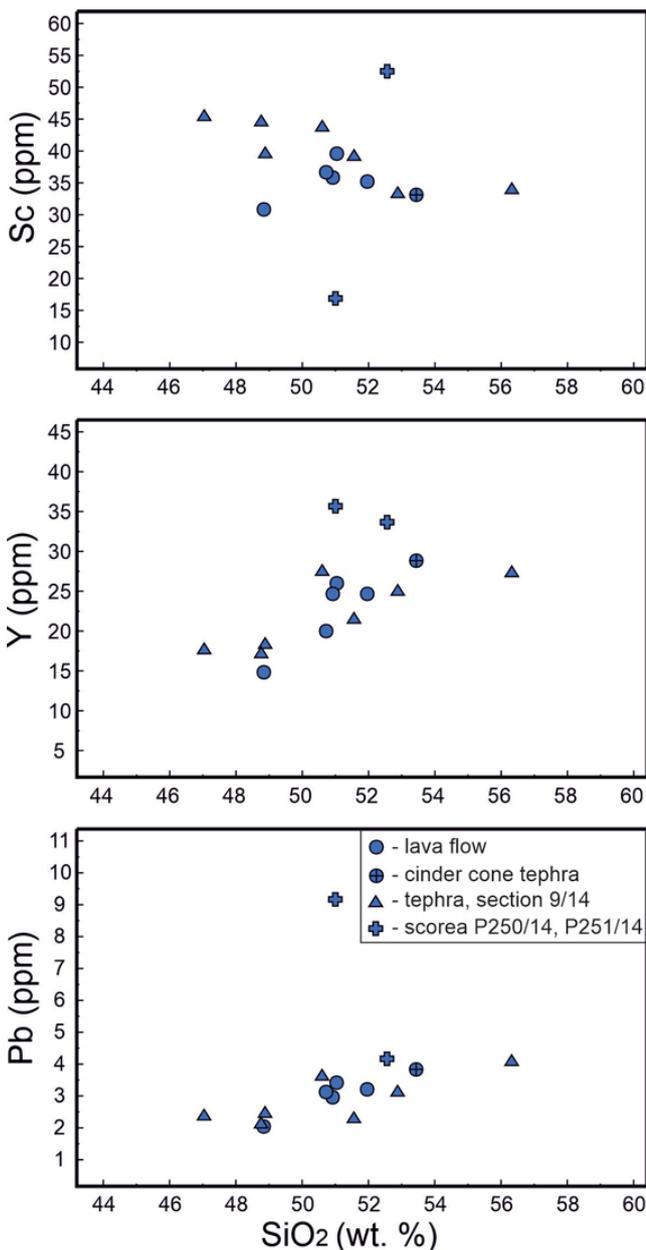


Рис. 10. Вариации концентраций Sc, Y, Pb (г/т) в зависимости от содержания SiO₂ для изверженных пород влк. Атсонупури.

Fig. 10. The variations of Sc, Y, and Pb concentrations (g/t) according to the SiO₂ content for igneous rocks of the Atsonupuri volcano.

ации и морских судов. При этом вероятны не только терминальные (субтерминальные) извержения, но и побочные прорывы.

Вещественный состав ювенильной пирокластики влк. Атсонупури представлен умеренно- и низкокальциевыми базальтами и андезибазальтами толеитовой серии с содержанием SiO_2 47.05–56.35, K_2O 0.30–0.72, Na_2O 1.99–3.35 мас.%. Лавовые потоки относятся к тем же петрохимическим сериям, но имеют меньший диапазон вариаций составов по сравнению с тефрой (SiO_2 48.86–53.47, K_2O 0.35–0.61, Na_2O 2.06–3.19 мас.%). В целом продукты активности вулкана отличаются разнообразием и неординарностью вариаций составов, необычностью трендов эволюции.

Представленные в настоящем сообщении результаты основаны на ограниченном наборе данных и лишь в первом приближении позволяют пролить свет на доисторическую активность и вещественный состав изверженных пород влк. Атсонупури. Для полного восстановления истории эруптивной деятельности вулкана необходимо проведение детальных палеовулканологических работ, включающих комплексные геолого-вулканологические, изотопно-геохимические исследования, затрагивающие не только данный вулканический центр, но и соседние вулканы (Стокап, Берутарубе и др.).

Список литературы

1. Горшков Г.С. **1967**. *Вулканизм Курильской островной дуги*. М.: Наука, 287 с.
2. Федорченко В.И., Абдурахманов А.И., Родионова Р.И. **1989**. *Вулканизм Курильской островной дуги: геология и петрогенезис*. М.: Наука, 239 с.
3. Ramsey C., Bronk, Lee S. **2013**. Recent and planned developments of the program OxCal. *Radiocarbon*, 55 (2-3): 720–730. <https://doi.org/10.1017/S0033822200057878>
4. Браславец К.М. **1983**. История в названиях на карте Сахалинской области. Южно-Сахалинск: Дальневост. кн. изд-во. Сах. отд-ние, 144 с.
5. Горшков Г.С. **1958**. Действующие вулканы Курильской островной дуги. *Молодой вулканизм СССР: Труды Лаборатории вулканологии АН СССР*, 13: 59–60.
6. Гришин С.Ю. **2011**. Воздействие вулканических извержений на растительный покров острова Мауа (Курильские острова). *Известия РГО*, 143: 79–89.
7. Головин В.М. **1819**. *Путешествие Российского Императорского шлюпа «Диана» из Кронштадта на Камчатку, совершенное под начальством флота лейтенанта (ныне капитана 1-го ранга) Головина в 1807, 1808 и 1809 годах*. Ч. I. СПб.: Морская типография, 240 с.
8. Дегтерев А.В., Пинегина Т.К., Разжигаяева Н.Г., Кожурин А.И. **2021**. Голоценовая летопись вулканических извержений острова Итуруп. *Природа*, 12: 17–22. <https://doi.org/10.7868/S0032874X21120036>
9. Пинегина Т.К., Разжигаяева Н.Г., Дегтерев А.В., Хомчановский А.Л. **2023**. По следам голоценовых сильных землетрясений острова Итуруп. *Природа*, 3: 51–57. <https://doi.org/10.7868/S0032874X23030055>
10. Разжигаяева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Харламов А.А., Арсланов Х.А., Кайстренко В.М., Горбунов А.О., Петров А.Ю. **2017**. Проблема палеореконструкций мегацунами на Южных Курилах. *Тихоокеанская геология*, 36(1): 37–49.
11. Nakagawa M., Hiraga N., Furukawa R. **2011**. Formation of a zoned magma chamber and its temporal evolution during the historic eruptive activity of Tarumai Volcano, Japan: Petrological implications for a long-term forecast of eruptive activity of an active volcano. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 205 (1-2): 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2011.05.003>
12. Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Belyanina N.I., Grebennikova T.A., Ganzey K.S. **2008**. Paleoenvironments and landscape history of the Minor Kuril Islands since the Late Glacial. *Quaternary International*, 179(1): 83–89. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2007.10.017>
13. Razjigaeva N.G., Matsumoto A., Nakagawa M. **2016**. Age, source, and distribution of Holocene tephra in the southern Kurile Islands: Evaluation of Holocene eruptive activities in the southern Kurile arc. *Quaternary International*, 397: 63–78. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.07.070>
14. Gill J.B. **1981**. *Orogenic andesites and plate tectonics*. Berlin: Springer-Verlag, 390 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-68012-0>
15. Nakagawa M., Ishizuka Y., Kudo T., Yoshimoto M., Hirose W., Ishizaki Y., Gouchi N., Katsui Y., Solovyov A.W., Steinberg G.S., Abdurakhmanov A.I. **2002**. Tyatya Volcano, southwestern Kuril arc: Recent eruptive activity inferred from widespread tephra. *The Island Arc*, 11: 236–254. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1738.2002.00368.x>
16. Le Bas M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B. **1986**. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27: 745–750. <https://doi.org/10.1093/petrology/27.3.745>

Продолжение списка литературы на с. 90.

ПРИЛОЖЕНИЕ / APPENDIX

Таблица. Химический состав (петрогенные окислы, мас. %, микро- и редкоземельные элементы, г/т) лав и тефры влк. Атсонупури
Table. Chemical composition (petrogenic oxides, wt. %; trace and rare earth elements, g/t) of lavas and tephra of the Atsonupuri volcano

Окисел, элемент	Лавы								Тефра							
	P81/2014	P83/14	P84/14	P85/14	P 38/13	P 39/13	2/9/14	9/9/14	15/9/14	20/9/14	23/9/14	39/9/14	41/9/14	P 250/14	P 251/14	
SiO ₂	51.05	51.97	50.94	50.76	48.86	53.47	48.89	56.35	47.05	48.78	51.56	52.90	50.60	52.57	51.02	
TiO ₂	1.12	1.06	1.05	0.90	0.74	0.99	0.91	1.00	1.03	0.89	1.03	0.97	1.14	1.10	1.18	
Al ₂ O ₃	18.66	19.19	19.50	18.87	22.69	18.46	19.00	16.52	18.65	18.97	18.12	19.11	16.69	17.23	17.00	
Fe ₂ O ₃	4.15	4.48	3.81	4.12	4.69	10.29	4.24	3.86	6.36	4.63	4.21	4.83	5.32	4.61	6.40	
FeO	7.31	6.03	6.71	6.29	4.30	0.21	6.66	6.54	5.35	6.86	7.09	5.06	7.42	7.27	6.38	
MnO	0.21	0.21	0.20	0.20	0.15	0.21	0.19	0.25	0.19	0.20	0.23	0.20	0.25	0.24	0.25	
MgO	3.74	3.30	3.31	4.48	3.24	2.96	5.21	3.25	5.95	5.00	4.92	3.00	4.37	4.19	4.41	
CaO	10.32	10.20	10.31	10.55	12.69	9.13	11.46	7.62	12.33	11.30	9.56	9.51	9.06	8.85	9.00	
Na ₂ O	2.69	2.87	2.86	2.45	2.06	3.19	2.16	3.33	1.99	2.01	2.68	2.84	2.52	2.72	2.59	
K ₂ O	0.44	0.42	0.42	0.61	0.35	0.51	0.58	0.72	0.67	0.33	0.30	0.44	0.49	0.56	0.51	
P ₂ O ₅	0.15	0.16	0.14	0.15	0.07	0.19	0.13	0.17	0.13	0.08	0.12	0.15	0.15	0.14	0.14	
П.п.п.	0.29	0.20	0.28	0.59	0.32	0.41	0.43	0.37	0.10	0.71	0.28	0.62	1.57	0.64	0.99	
Σ	100.21	100.19	99.61	100.10	100.22	100.11	100.14	100.06	100.14	100.14	100.20	100.18	100.12	100.18	100.12	
Li	4.92	4.53	5.69	4.05	3.53	5.26	3.91	6.75	3.82	3.57	4.04	5.83	5.00	6.82	10.55	
Be	0.45	0.44	0.44	0.39	0.24	0.56	0.44	0.50	0.48	0.35	0.37	0.50	0.38	0.56	0.47	
Sc	39.39	35.02	35.79	36.50	30.66	33.05	39.78	34.07	45.59	44.74	39.17	33.47	43.78	52.46	16.69	
V	286.1	250	247.8	282.2	268.5	164	317.3	171.8	371	347.1	225.3	199.5	262.2	268	64.8	
Cr	3.4	3.3	4.0	13.5	8.7	2.7	50.0	1.0	78.7	35.9	1.8	2.3	7.1	2.2	3.2	
Co	28.35	23.62	23.78	26.37	22.15	20.07	31.22	19.74	36.81	32.72	23.71	20.57	29.91	35.55	5.74	
Ni	6.77	6.35	5.77	14.09	8.98	4.17	16.99	1.34	25.65	11.61	1.46	4.52	8.19	3.13	2.71	
Cu	65.94	46.61	51.22	43.75	49.96	47.24	69.76	63.93	75.14	68.92	14.49	42.45	55.28	68.59	15.42	
Zn	86.30	80.47	80.06	79.23	66.31	82.92	80.25	105.88	73.96	81.53	77.92	79.46	97.77	119.8	115.3	
Ga	18.96	18.57	18.66	18.49	19.61	18.26	18.90	18.86	18.42	19.04	16.91	18.28	18.77	21.88	14.01	
As	3.07	2.84	3.13	2.76	3.44	4.70	2.97	3.56	3.16	3.47	3.05	4.65	3.07	3.62	3.79	
Rb	8.64	8.14	8.17	15.85	8.39	9.81	14.77	17.56	18.96	7.73	5.26	9.45	10.13	11.63	18.63	
Sr	363.0	376.2	384.3	392.5	412.1	390.0	442.6	386.8	397.9	324.4	392.9	406.9	343.3	395.4	175.0	

Окисел, элемент	Лавы					Тефра									
	Р81/2014	Р83/14	Р84/14	Р85/14	Р 38/13	Р 39/13	2/9/14	9/9/14	15/9/14	20/9/14	23/9/14	39/9/14	41/9/14	Р 250/14	Р 251/14
Y	25.94	24.63	24.52	19.87	14.70	28.79	18.44	27.46	17.72	17.26	21.52	25.07	27.51	33.64	35.64
Zr	46.60	43.35	43.63	50.12	30.11	54.91	44.96	62.24	45.96	32.90	32.39	48.09	51.46	61.81	137.8
Nb	1.00	0.92	0.95	1.40	0.69	1.21	1.25	1.29	1.58	0.71	0.69	2.41	1.10	1.31	1.38
Mo	0.70	0.62	0.66	0.65	0.48	0.75	0.48	0.96	0.48	0.47	0.48	0.65	0.78	0.92	1.94
Cd	0.14	0.13	0.13	0.13	0.07	0.16	0.12	0.20	0.09	0.12	0.15	0.16	0.14	0.22	0.17
Sn	0.63	0.57	0.52	0.47	0.45	0.75	0.48	0.71	0.56	35.23	0.58	0.61	0.68	0.89	0.88
Cs	0.51	0.46	0.42	0.71	0.40	0.55	0.59	0.81	0.70	0.42	0.31	0.51	0.55	0.70	1.38
Ba	133.5	127.9	131.0	181.8	93.9	162.8	144.9	201.9	162.4	91.9	86.0	142.5	142.3	172.2	265.4
La	6.08	5.81	5.85	8.76	4.00	7.24	7.96	8.57	7.73	4.08	3.92	6.53	6.37	8.08	7.32
Ce	15.34	14.74	14.91	19.74	9.75	18.19	18.46	20.36	18.17	9.97	10.54	16.28	16.07	20.11	19.09
Pr	2.32	2.25	2.26	2.67	1.41	2.66	2.57	2.88	2.49	1.48	1.66	2.38	2.40	3.00	2.81
Nd	11.23	10.69	10.89	12.32	6.50	12.35	12.15	13.42	11.56	7.10	8.18	11.41	11.57	15.11	13.63
Sm	3.06	2.98	3.09	2.87	1.89	3.59	2.97	3.62	2.84	2.12	2.37	3.23	3.34	3.99	3.74
Eu	1.14	1.16	1.02	1.00	0.74	1.29	1.05	1.33	1.19	0.86	1.07	1.28	1.19	1.28	1.11
Gd	4.00	3.91	3.47	3.47	2.26	4.44	3.50	4.40	3.87	2.77	3.51	4.10	4.25	4.74	5.13
Tb	0.73	0.71	0.71	0.57	0.42	0.81	0.55	0.77	0.53	0.49	0.61	0.73	0.77	0.96	0.91
Dy	4.81	4.49	4.42	3.67	2.67	5.10	3.36	5.02	3.21	3.08	3.85	4.45	4.94	6.02	5.79
Ho	1.03	0.98	0.99	0.78	0.57	1.12	0.71	1.08	0.69	0.66	0.84	0.98	1.06	1.31	1.34
Er	3.10	2.87	2.89	2.23	1.73	3.38	2.11	3.12	2.06	1.97	2.47	2.88	3.25	3.96	4.12
Tm	0.45	0.41	0.41	0.34	0.25	0.47	0.30	0.47	0.29	0.29	0.35	0.42	0.47	0.57	0.62
Yb	2.87	2.62	2.74	2.22	1.63	3.10	2.00	3.06	1.87	1.92	2.35	2.64	3.13	3.73	4.23
Lu	0.43	0.41	0.39	0.33	0.24	0.47	0.30	0.46	0.27	0.28	0.35	0.41	0.46	0.54	0.66
Hf	1.44	1.34	1.33	1.45	0.87	1.67	1.29	1.76	1.32	0.98	1.03	1.33	1.59	1.90	3.29
Ta	0.06	0.06	0.07	0.08	0.05	0.07	0.07	0.08	0.11	0.06	0.04	0.21	0.08	0.08	0.10
W	0.13	0.11	0.13	0.14	0.15	0.18	0.15	0.18	0.16	0.10	0.08	0.19	0.15	0.18	0.41
Tl	0.04	0.05	0.04	0.07	0.02	0.02	0.04	0.09	0.05	0.03	0.04	0.06	0.04	0.06	0.18
Pb	3.41	3.20	2.94	3.09	2.02	3.83	2.48	4.12	2.39	2.14	2.33	3.13	3.64	4.16	9.13
Th	0.74	0.70	0.68	1.50	0.59	0.86	1.19	1.42	1.26	0.61	0.35	0.83	0.83	1.00	1.51
U	0.20	0.21	0.19	0.41	0.18	0.26	0.30	0.41	0.33	0.16	0.11	0.24	0.25	0.29	0.54

Примечания к таблице. Привязка образцов приводится на рис. 1. Химические анализы выполнены в аналитическом центре Дальневосточного геологического института ДВО РАН (г. Владивосток). Определение содержания H_2O -, п.п.п., SiO_2 выполнено методом гравиметрии (аналитик В.Н. Залевская), содержания FeO – методом титриметрии (аналитик Ж.А. Щека). Содержания остальных элементов определены методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре iCAP 7600 Duo (Thermo Scientific Corporation, США), свидетельство о поверке № 001434 от 17 ноября 2015 г. (аналитики Г.А. Горбач, Е.А. Ткалина, Н.В. Хуркало). Пробоподготовка к инструментальному анализу – открытое кислотное разложение (HNO_3+HClO_4+HF) (аналитики Ю.М. Иванова, Е.В. Волкова).

Notes to the table. The samples are referenced in Fig. 1. Chemical analyses were completed in the analytical centre of the Far Eastern Geological Institute of the Far Eastern Branch of RAS (Vladivostok). The content of H_2O -, p.p.p., SiO_2 was measured by gravimetry (analyst V. Zalevskaya), FeO content was measured by titrimetry (analyst J. Shcheka). The contents of other elements were measured by atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma on spectrometer iCAP 7600 Duo (Thermo Scientific Corporation, USA), certificate of verification No. 001434 dated 17 November 2015 (analysts G. Gorbach, E. Tkalina, N. Khurkalo). Sample preparation for instrumental analysis – open acid decomposition (HNO_3+HClO_4+HF) (analysts Yu. Ivanova, E. Volkova).

Продолжение списка литературы

17. Peccerillo A., Taylor S.R. **1976**. Geochemistry of Eocene calc-alkaline rocks from Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58: 63–81. <https://doi.org/10.1007/bf00384745>
18. Miyashiro A. **1974**. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *American Journal of Science*, 274: 321–355. <https://doi.org/10.2475/ajs.274.4.321>
19. Irvine T.N., Baragar W.R.A. **1971**. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8: 523–548. <https://doi.org/10.1139/e71-055>
20. Sun S.S., McDonough W.F. **1989**. Chemical and isotopic systematics of ocean basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London. Special Publications*, 42: 313–345. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
21. McDonough W.F., Sun S.S. **1995**. The composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120(3-4): 223–253. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4)
5. Gorshkov G.S. **1958**. Active volcanoes of the Kuril island arc. In: *Young volcanism of the USSR: Proceedings of the Laboratory of Volcanology of the USSR Academy of Sciences*, 13: 59–60. (In Russ.).
6. Grishin S.Yu. **2011**. Impact of volcanic eruptions on the vegetation cover of Maua Island (Kuril Islands). *Izvestiya RGO*, 143: 79–89. (In Russ.).
7. Golovnin V.M. **1819**. *The voyage of the Russian Imperial sloop "Diana", from Kronstadt to Kamchatka, completed under the command of the Fleet Lieutenant (now Captain 1st Rank) Golovnin in 1807, 1808 and 1809*. Pt I. St. Petersburg: Marine Printing House, 240 p. (In Russ.).
8. Degterev A.V., Pinegina T.K., Razjigaeva N.G., Kozhurin A.I. **2021**. [Holocene chronicle of volcanic eruptions on Iturup Island]. *Priroda = Nature*, 12: 17–22. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0032874X21120036>
9. Pinegina T.K., Razzhigaeva N.G., Degterev A.V., Khomchanovsky A.L. **2023**. Following the Holocene strong earthquakes of Iturup Island. *Priroda = Nature*, 3: 51–57. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0032874X23030055>
10. Razzhigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A., Kharlamov A.A., Arslanov Kh.A., Kaistrenko V.M., Gorbunov A.O., Petrov A.Yu. **2017**. The problem of past megatsunami reconstructions on the southern Kurils. *Russian Journal of Pacific Geology*, 11(1): 34–45. <https://dx.doi.org/10.1134/S1819714017010079>
11. Nakagawa M., Hiraga N., Furukawa R. **2011**. Formation of a zoned magma chamber and its temporal evolution during the historic eruptive activity of Tarumai Volcano, Japan: Petrological implications for a long-term forecast of eruptive activity of an active volcano. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 205 (1-2): 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2011.05.003>

References

1. Gorshkov G.S. **1967**. [*Volcanism of the Kuril island arc*]. Moscow: Nauka, 287 p. (In Russ.).
2. Fedorchenko V.I., Abdurakhmanov A.I., Rodionova R.I. **1989**. [*Volcanism of the Kuril island arc: geology and petrogenesis*]. Moscow: Nauka, 239 p. (In Russ.).
3. Ramsey C. Bronk, Lee S. **2013**. Recent and planned developments of the program OxCal. *Radiocarbon*, 55 (2-3): 720–730. <https://doi.org/10.1017/S0033822200057878>
4. Braslavets K.M. **1983**. History in names on the map of the Sakhalin region. Yuzhno-Sakhalinsk: Far Eastern Book Publ. House. Sakhalin Branch, 144 p. (In Russ.).

12. Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Belyanina N.I., Grebennikova T.A., Ganzey K.S. **2008**. Paleoenvironments and landscape history of the Minor Kuril Islands since the Late Glacial. *Quaternary International*, 179(1): 83–89. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2007.10.017>
13. Razzhigaeva N.G., Matsumoto A., Nakagawa M. **2016**. Age, source, and distribution of Holocene tephra in the southern Kurile Islands: Evaluation of Holocene eruptive activities in the southern Kurile arc. *Quaternary International*, 397: 63–78. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.07.070>
14. Gill J.B. **1981**. Orogenic andesites and plate tectonics. Berlin: Springer-Verlag, 390 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-68012-0>
15. Nakagawa M., Ishizuka Y., Kudo T., Yoshimoto M., Hirose W., Ishizaki Y., Gouchi N., Katsui Y., Solovyow A.W., Steinberg G.S., Abdurakhmanov A.I. **2002**. Tyatya Volcano, southwestern Kuril arc: Recent eruptive activity inferred from widespread tephra. *The Island Arc*, 11: 236–254. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1738.2002.00368.x>
16. Le Bas M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B. **1986**. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27: 745–750. <https://doi.org/10.1093/petrology/27.3.745>
17. Peccerillo A., Taylor S.R. **1976**. Geochemistry of Eocene calc-alkaline rocks from Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58: 63–81. <https://doi.org/10.1007/bf00384745>
18. Miyashiro A. **1974**. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *American Journal of Science*, 274: 321–355. <https://doi.org/10.2475/ajs.274.4.321>
19. Irvine T.N., Baragar W.R.A. **1971**. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8: 523–548. <https://doi.org/10.1139/e71-055>
20. Sun S.S., McDonough W.F. **1989**. Chemical and isotopic systematics of ocean basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London. Special Publications*, 42: 313–345. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
21. McDonough W.F., Sun S.S. **1995**. The composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120(3-4): 223–253. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4)

Об авторе

Дегтерев Артем Владимирович (<https://orcid.org/0000-0001-8291-2289>), кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией вулканологии и вулканопасности, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия, d_a88@mail.ru

Поступила 29.12.2024

Принята к публикации 04.02.2025

About the Author

Degterev, Artem V. (<https://orcid.org/0000-0001-8291-2289>), Cand. of Sci. (Geology and Mineralogy), Head of Laboratory of volcanology and volcanic hazard, Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, d_a88@mail.ru

Received 29 December 2024

Accepted 4 February 2025