

ЭФФУЗИВНОЕ ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНА СНОУ В 2012–2016 гг. (о. ЧИРПОЙ, КУРИЛЬСКИЕ О-ВА)

© 2025 А.В. Дегтерев, М.В. Чибисова, Ф.А. Романюк, **А.В. Рыбин**

*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия, 693022;
e-mail: d_a88@mail.ru*

Поступила в редакцию 19.09.2024; после доработки 08.02.2025; принята в печать 25.03.2025

В 2012–2016 гг. на вулкане Сноу, расположенном на о. Чирпой (о-ва Черные Братья, Курильские о-ва), происходило относительно редкое для Курильской островной дуги событие — побочное эффузивное извержение. На протяжении трех с половиной лет из побочного конуса на юго-восточном склоне постройки изливался глыбовый лавовый поток андезитового состава. Суммарная площадь лавового покрова и сформировавшегося в результате его последующего разрушения обломочного материала в настоящее время составляет 854.1 тыс. м², из них 502.1 тыс. м² на склоне вулканической постройки и 352 тыс. м² на прилегающем к острову шельфе. При этом образовались специфические формы рельефа — лавовые дельты и вулканические пляжи. Общий объем лавы, излившейся в результате извержения, составил ~0.043 км³. В историческое время подобные извержения на о. Чирпой происходили дважды (предпоследнее — 133 л.н.). Изливавшиеся на прилегающий шельф потоки глыбовых лав обеспечили прирост островной суши.

Ключевые слова: Курильские острова, Чирпой, извержение вулкана Сноу, вулканическая геоморфология.

ВВЕДЕНИЕ

Современные извержения наземных вулканов Курильской островной дуги нередко сопровождаются процессами трансформации береговых ландшафтов. Особенно характерны они для относительно небольших по площади островов Центральных и Северных Курил (Левин и др., 2010; Рашидов и др., 2013; Романюк, Дегтерев, 2020). Большинство из них связаны с накоплением пирокластики вокруг вулканических построек, поступающей в результате эксплозий и/или при обвальном-взрывных процессах, широко распространенных на вулканах Курило-Камчатской дуги (Белоусов, Белоусова, 1997; Belousov, Belousova, 1996). Характерные примеры подобных событий в XX–XXI вв. — мощное эксплозивное извержение вул. Пик Севергина (о. Харимкотан) в 1933 г., которое сопровождалось частичным обрушением вулканической постройки (Белоусов, Белоусова, 1997; Горшков, 1967; Belousov, Belousova, 1996), а также недавние мощные субплинианские извержения вулканов Пик Сарычева (2009 г.) и Райкоке (2019 г.)

на Центральных Курилах, в ходе которых был выброшен значительный объем грубообломочной пирокластики (материал пирокластических потоков), отложившейся на прилегающий шельф (Левин и др., 2010; Рашидов и др., 2019; Романюк, Дегтерев, 2020; Urai, Ishizuka, 2011).

Существенно меньше примеров изменения береговых геосистем, связанных с излиянием лавовых потоков (ЛП), хотя именно эффузивные извержения являются ключевым рельефообразующим процессом, обеспечивая латеральный прирост площади океанических островов (Ramalho et al., 2013).

В 2012–2016 гг. на вул. Сноу, расположенном на о. Чирпой (о-ва Черные Братья), происходило относительно редкое для действующих вулканов Курильской островной дуги событие — побочное эффузивное извержение (рис. 1). На протяжении трех с половиной лет из побочного конуса (ПК) на юго-восточном склоне постройки с разной интенсивностью изливался глыбовый ЛП андезитового состава (Рыбин и др., 2019). Его фронтальная часть уже к концу первого месяца извержения достигла береговой линии и начала

дальнейшее продвижение в акваторию по прилегающему шельфу, приведя к формированию первичного вулканического берега посредством прироста т. н. лавовых дельт («lava deltas», «lava-fed deltas»; далее по тексту ЛД) (Moore et al., 1973; Rodriguez-Gonzalez et al., 2022).

В первых работах авторов данного исследования, посвященных текущей вулканической активности на Курильских островах, были представлены краткие сведения, касающиеся основных особенностей начавшегося извержения, основанные на данных дистанционного зондирования и краткосрочных натурных наблюдений (Рыбин и др., 2015, 2017). Позже Д.В. Мельниковым с соавторами (Мельников и др., 2018) на основе спутниковых данных VIIRS и алгоритма Nightfire были в деталях изучены динамика и хронология эффузивного процесса.

В настоящей публикации рассмотрены геолого-геоморфологические аспекты извержения — в частности изучены особенности формирования ЛД, вызвавших увеличение площади о. Чирпой, а также представлены первые данные о химическом составе пород последнего и более ранних извержений вул. Сноу.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основу работы составляют данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и результаты полевых работ (Рыбин и др., 2015). Для изучения динамики формирования ЛД и построения картосхем в ПО QGIS (V. 3.20.3) были использованы спутниковые снимки из открытых источников (Image©2024 Landsat/Copernicus — Сахалинская область; миссий Landsat 7 и Landsat 8 за 2012–2024 гг., Copernicus Sentinel-2 (L1C) за 2016–2024 гг. — о. Чирпой). Путем дешифрования были составлены ареалы распространения ЛП и вычислены их площади. Кроме того, в 2015 и 2020 гг. были проведены рекогносцировочные полевые работы на о. Чирпой, позволившие проверить и детализировать информацию, полученную дистанционными методами.

Для мониторинга извержения вул. Сноу были использованы спутниковые снимки NOAA (AVHRR/POES), Terra/Aqua (MODIS), полученные из информационной системы «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» VolSatView (Гордеев и др., 2016; Ефремов и др., 2012; Лупян и др., 2015) и ФГУ НПП «Росгеолфонд». К сожалению, снимки среднего разрешения для территории о. Чирпой в VolSatView появились только в феврале 2013 г.

Для изучения вещественного состава продуктов извержения вул. Сноу в ходе краткосрочных полевых работ на о. Чирпой 2015 г. были

отобраны свежие образцы лав, вулканических бомб и пепла (рис. 1).

Кроме того, дополнительно были проанализированы образцы лав более ранних извержений, отобранных А.В. Рыбиным на вул. Сноу во время полевых исследований 1994 г. Химические анализы были выполнены в Аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток).

Петрогенные элементы (мас. %). Определение содержания H_2O , ППП, SiO_2 выполнено методом гравиметрии (аналитики — Л.И. Алексеева, Л.А. Авдеевна). Определение содержания FeO выполнено методом титриметрии (аналитик — Ж.А. Шека). Определение содержания остальных элементов выполнено методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре iCAP 6500Duo (Thermo Scientific Corporation, США), свидетельство о поверке № 027467 от 11 ноября 2014 г. (аналитики — Г.А. Горбач, Е.А. Ткалина, Н.В. Хуркало).

Результаты определения содержания микроэлементов в образцах (г/т). Пробоподготовка — открытое кислотное разложение ($HF+HNO_3+HClO_4$) (аналитик — Ю.М. Иванова). Определение содержания элементов выполнено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре Agilent 7700 (Agilent Technologies, США) (аналитик — Е.В. Еловский).

Обработка результатов химических анализов осуществлялась в программе PetroGraph (Petrelli et al., 2005).

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СТРОЕНИИ И АКТИВНОСТИ ВУЛКАНА СНОУ

Остров Чирпой вместе с о. Брат Чирпоев образуют группу о-вов Черные Братья, которые расположены в 30 км к северо-востоку от о. Уруп в пределах подводно-надводной кальдеры Горшкова — крупной депрессии 7.5×11.5 км, образовавшейся предположительно в позднем плейстоцене в результате катастрофического эксплозивного извержения (Бондаренко, Рашидов, 2003а, 2003б, 2021; Подводный..., 1992) (рис. 1). В геологическом отношении о. Чирпой представляет собой сложный вулканический массив, в состав которого входят фрагменты докальдерной (п-ов Лапка) (рис. 2) и четыре посткальдерные постройки, две из которых — вулканы Черного и Сноу — действующие.

Вулкан Сноу — самый южный, маленький (абс. выс. — 395 м) и наиболее молодой из них (рис. 3).

Вулкан назван в честь английского мореплавателя Г. Сноу (Гальцев-Безюк, 1992), который в 1873–1896 гг.

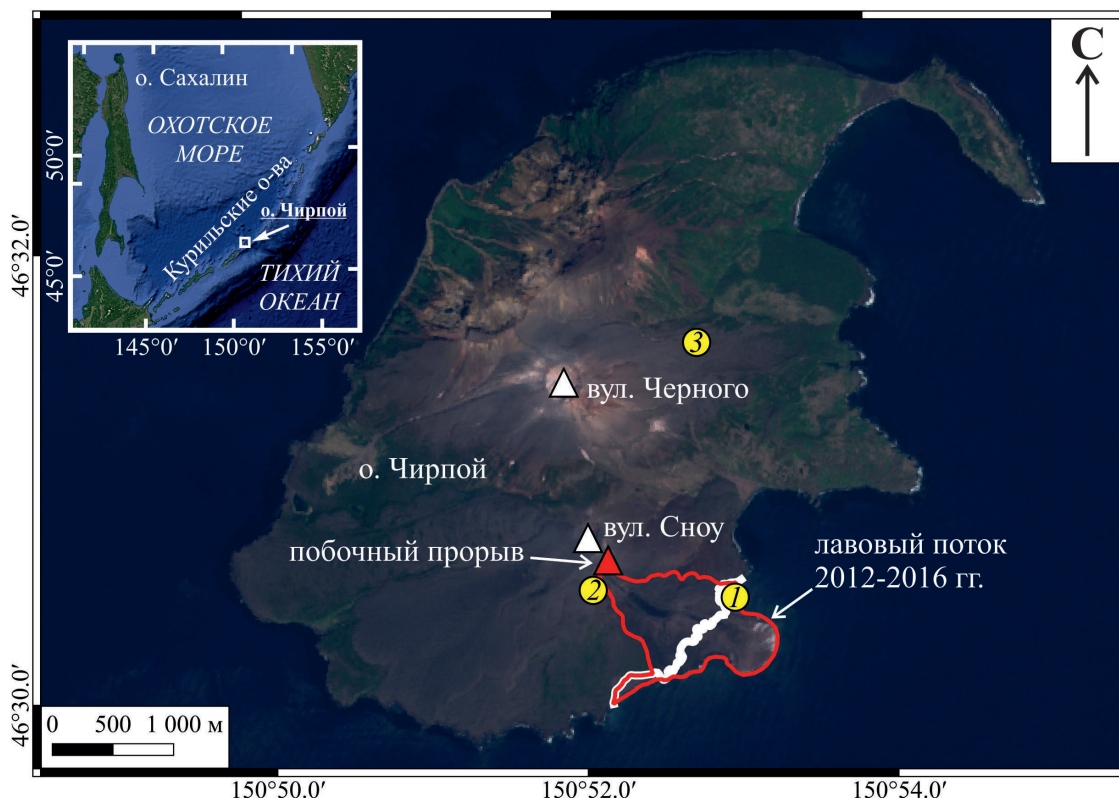


Рис. 1. Географическое положение о. Чирпой с вул. Сноу в системе Курильской островной дуги. Белая линия соответствует положению береговой линии до извержения 2012–2016 гг., красная — границе наибольшего распространения изверженных продуктов, сформировавших лавовые дельты и пляжи. Номера показывают точки отбора продуктов извержения, выполненного в 2015 г.: 1 — лава фронтальной части потока (обр. № Р31/2015, Р33/2015), 2 — лава и вулканические бомбы вблизи прорыва (обр. № Р34/2015; Р35/2015), 3 — вулканический пепел (обр. № МСН7/2015).

Fig. 1. Geographical location of Chirпой Island with Snow volcano in the Kuril Island Arc system. The white line corresponds to the position of the coastline before the 2012–2016 eruption, the red line corresponds to the zone of greatest distribution of eruptive products that formed lava deltas (LD) and beaches. The numbers show the points of sampling of eruption products made in 2015: 1 — lava from the frontal part of the flow (samples R31/2015, R33/2015), 2 — lava and volcanic bombs near the breakthrough (samples R34/2015; R35/2015), 3 — volcanic ash (sample MSN7/2015).



Рис. 2. П-ов Лапка — единственный сохранившийся надводный фрагмент докальдерной постройки вулканического массива Черные Братья (вид с юго-запада). Видна слоистая структура стратовулкана, образованного чередованием лав и пирокластики. Фото А.В. Рыбина, 02.08.2015 г.

Fig. 2. Lapka Peninsula is the only preserved above-water part of the pre-caldera structure of the Chernye Bratya massif (view from the southwest). The layered structure of the stratovolcano formed by alternating lavas and pyroclasts is visible. Photo by A.V. Rybin, 02.08.2015.

занимался добычей, преимущественно браконьерской, морского зверя у берегов Курильских островов, а в 1897 г. опубликовал книгу «Курильская гряда» (Сноу, 1992), представляющую собой достаточно подробное описание природы архипелага. Для вулканологов она интересна, прежде всего, описаниями извержений, которые довелось наблюдать Г. Сноу за время своего плавания.

Постройка вул. Сноу представляет собой небольшой стратовулканический конус с вершинным кратером, сложенный главным образом лавами. Следы какого-либо эрозионного расчленения на его склонах отсутствуют. Многочисленные лавовые потоки спускаются от вершины вулкана к подножью, из-за чего южное побережье

острова имеет характерную лопастную форму, не изъеденную абразией, подчеркивая таким образом их очень молодой возраст.

Картина повсеместного распространения лав в пределах конуса Сноу эффектно описана Г.С. Горшковым (1967): «...Хаотическое нагромождение потоков глыбовой лавы придает южной части острова мрачный, дикий вид, который подчеркивается полным отсутствием здесь какой-либо растительности...» (Горшков, 1967, с. 50). Вершину вулканического конуса венчает пологий, блюдцеобразный кратер диаметром ~280 м, в северо-северо-восточную часть которого вложены два кратера меньшего диаметра — ~160 и ~80 м (рис. 4).



Рис. 3. Общий вид действующих вулканов Сноу и Черного (вид с востока), 2015 г. Фото А.В. Рыбина, 01.08.2015 г.

Fig. 3. General view of the active volcanoes Snow and Chernogo (view from the east), 2015. Photo by A.V. Rybin, 01.08.2015 г.

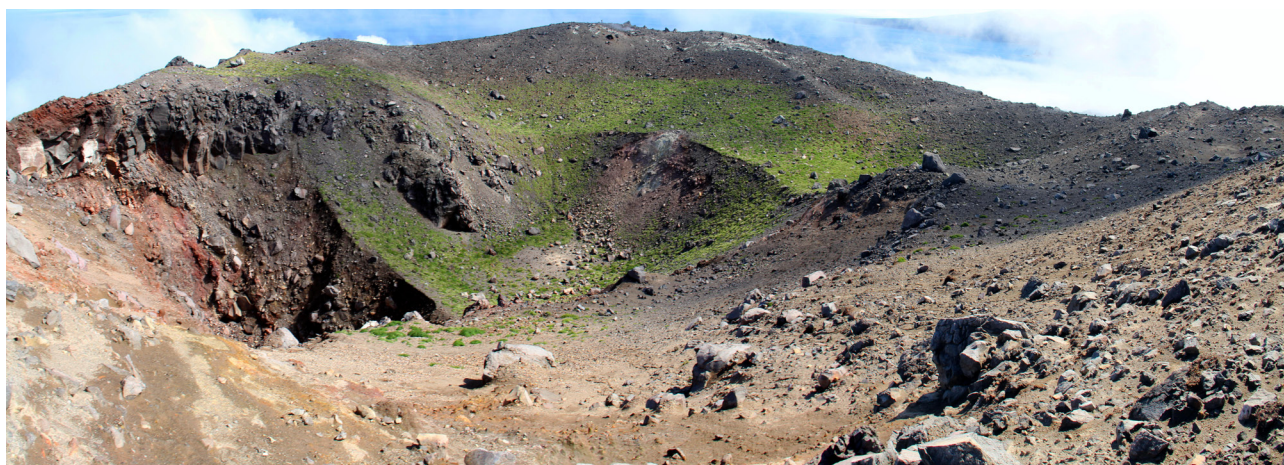


Рис. 4. Панорама вершинного кратера вул. Сноу (вид с севера), 2015 г. Слева — колодецеобразный кратер, сформировавшийся в результате последних эксплозивных извержений вулкана. Фото А.В. Дегтерева. 02.08.2015.

Fig. 4. Panorama of the summit crater of Snow volcano (view from the north), 2015. On the left is the well-shaped crater formed as a result of the volcano's most recent explosive eruptions. Photo by A.V. Degterev. 02.08.2015.

Последний имеет вид колодца с вертикальными стенками глубиной порядка 15 м, дно которого завалено грубообломочной пирокластикой. Его формирование, вероятно, произошло в ходе одного из последних эксплозивных извержений — в 1960 и/или 1982 гг. (рис. 4). Продукты эффузивной деятельности вул. Сноу, по данным (Горшков, 1967; Федорченко и др., 1989), представлены типичными двупироксеновыми андезитами.

Формирование вул. Сноу, по предположению Г.С. Горшкова (1967), произошло в течение исторического времени — возможно, после 1770 г., так как сотник Иван Черный, посещавший о. Чирпой в 1760-х гг., указывал только на одну «горелую сопку». Действительно — очень маловероятно, что он мог не заметить постройку вул. Сноу, т. к., судя по его описаниям, он довольно хорошо отличал активные вулканы («горелые сопки») и даже описывал последствия недавних извержений, сопровождая их важными деталями. При этом совершенно доподлинно известно, что Черный высаживался и проводил пеший осмотр о. Чирпой, т. к. на п-ове Лапка (рис. 3) в честь своего пребывания он оставил памятный знак: «...Там на высоком месте, в память моего там бытия, поставлен деревянный крест, с надписанием года, месяца и числа...» (Полонский, 1994, с. 74).

Исторические извержения вул. Сноу происходили в 1811 (?), 1854 (?), 1879, 1960, 1982 гг. (Горшков, 1967; Иванов и др., 1984; Сноу, 1992). Сведения о большинстве из них отрывочны и неточны; тем не менее, проведя ревизию первоисточников, по ним можно составить общее представление о характере активности вулкана.

1811 г. Сведения о повышенной активности (извержении) вулкана в 1811 г. содержатся в книге выдающегося русского мореплавателя В.М. Головнина (1960): «Сего дни мы приметили, что на Тчирпое, кроме южной малой сопки (прим. авторов: вул. Сноу), и средняя (прим. авторов: вул. Черного) также курилась: дым выходил из ее вершины и в местах в двух или трех на боках, только в меньшем количестве и не с таким стремлением, как на южной...» (Головнин, 1960, с. 400). Из приведенного описания можно заключить, что вул. Сноу в 1811 г. находился в состоянии повышенной активности (слабого эксплозивного извержения?). Подтверждением этого являются результаты визуальных наблюдений стационарной парогазовой активности вулканов Черного и Сноу, находившихся в состоянии покоя, выполненных авторами в 1994, 2008, 2015 гг.: вул. Черного характеризовался гораздо более мощной парогазовой эмиссией, существенно превосходя в этом отношении вул. Сноу (Дегтерев и др., 2010).

1854 г. На о. Чирпой в 1854 г. происходило извержение, упоминающееся в труде К. Дитмара (2009). Со ссылкой на капитана Юзелиуса сообщается, что «24 июня 1854 года заметил он (прим. авторов: капитан Юзелиус) на Северном Чирпое (маленький остров на север от Урупа) извержение с огненными явлениями, а 29 июля этот остров сильно дымился» (Дитмар, 2009, с. 290). Судя по описанию, происходило эксплозивное или эксплозивно-эффузивное извержение умеренной (?) силы. Однако неизвестно, какой именно вулкан о. Чирпой извергался — Сноу или Черного.

1879 г. В 1879 г. происходило сильное эффузивное извержение вул. Сноу, в результате которого по юго-западному склону вулкана излился лавовый поток, вызвавший прирост площади островной суши. Его свидетелем был английский зверопромышленник Г. Сноу (1992), оставивший живописное описание процесса: «Это было поистине эффектным зрелищем: буквально из морской пучины медленно поднялась часть южного склона горы. Это постепенное образование суши происходило прямо на моих глазах: массы черных вулканических камней, выбрасываемых из жерла кратера, скатывались в море через равные промежутки... Я не могу точно сказать, сколько времени длился увиденный мною процесс образования новой суши. Это продолжалось в течение трех-четырёх дней, пока я находился там: но уверен, что это заняло не менее нескольких недель, судя по объёму и площади новорожденного участка суши» (Сноу, 1992, с. 94). Лавовый поток, сформировавшийся в ходе этого извержения, до сих пор выглядит очень свежо. Во всех источниках приводится лишь одна дата извержения (1879 г.), однако мы предполагаем, что оно могло длиться несколько лет.

1960 г. 20 октября 1960 г. происходило слабое (?) эксплозивное извержение; на палубу корабля, проходившего в 12 км от вулкана, выпал пепел (Горшков, 1967).

1982 г. 22 ноября 1982 г. капитан теплохода «Ковдалес» наблюдал слабое эксплозивное извержение вул. Сноу, о котором радировал в Институт вулканологии АН СССР: «Наблюдается интенсивный выход клубов дыма кратера вулкана, обозначенного на карте, высота 395 м, на о. Чирпой проливе Уруп» (Иванов и др., 1984).

Во время полевых работ, проведенных Г.С. Горшковым (1967) на о. Чирпой в начале первой половины XX в., в кратере вулкана и на внешних склонах его постройки отмечалась фумарольная деятельность. Аналогичная картина наблюдалась на вулкане в 1994, 2008 и 2015 гг. (максимальная температура сольфатарных газов в кратере по результатам замеров в 2008 г. составляла 91°C, на внешнем склоне постройки — 64 °C (Дегтерев и др., 2010)).

ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНА СНОУ В 2012–2016 гг.

Начало очередного извержения вулкана Сноу было зафиксировано по данным дистанционного зондирования: на спутниковом снимке Terra MODIS от 10 ноября 2012 г. Сахалинской группой реагирования на вулканические извержения (SVERT) была диагностирована термальная аномалия, свидетельствующая об увеличении тепловой эмиссии вулкана (Рыбин и др., 2016, 2017). Уточнить характер активности вул. Сноу позволили данные Terra ASTER: на космоснимке от 24 ноября 2012 г. 11:55 UTC (Coordinated Universal Time — всемирное координированное время), выполненном в инфракрасном диапазоне, в юго-восточном секторе вулкана наблюдалась интенсивная линейно-вытянутая (~1.2 км) термальная аномалия, предварительно идентифицируемая как ЛП (<http://www.kscnet.ru/webusers/dvm/?id=3>).

Дальнейшее наблюдение за извержением также осуществлялось на основе спутниковой информации (использовались главным образом снимки NOAA (AVHRR/POES), Terra/Aqua (MODIS)), обрабатываемой информационной системой «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» VolSatView (Гордеев и др., 2016; Ефремов и др., 2012; Лупян и др., 2015).

На протяжении 2012–2016 гг. на вул. Сноу регулярно отмечались термальные аномалии

различной интенсивности. Максимальные значения регистрируемого теплового излучения, соответствующие импульсам поступления свежих порций лавы на поверхность, по данным базы термальных аномалий сервиса VolSatView наблюдались в течение следующих периодов (рис. 5): ноябрь 2012 — январь 2013 г. (1), сентябрь — октябрь 2013 г. (2), февраль — июнь 2014 г. (3), сентябрь — ноябрь 2014 г. (4), февраль — ноябрь 2015 г. (5), апрель — июнь 2016 г. (6) (рис. 5). Наши данные, основанные на визуальном анализе значений из системы VolSatView, показали удовлетворительную схожесть с данными Д.С. Мельникова с соавторами (2018), полученными ранее на основе алгоритма Nightfire и спутниковых данных VIIRS (ноябрь 2012 — январь 2013 г. (1), сентябрь — октябрь 2013 г. (2), март — июнь 2014 г. (3), август — ноябрь 2014 г. (4), апрель — июнь 2015 г. (5)). Периодически происходили слабые парогазовые выбросы с небольшой примесью пепла. При этом пепловые облака (или шлейфы) на спутниковых снимках за весь период извержения не наблюдались ни разу.

1–2 августа 2015 г. на о-ве Чирпой были проведены краткосрочные полевые работы по изучению извержения вул. Сноу. Было подтверждено, что извержение происходит из ПК (рис. 6а), расположенного на юго-восточном склоне постройки на высоте ~300 м над ур. м. Наблюдавшееся изливание лавового потока в океан сопровождалось обрушением его

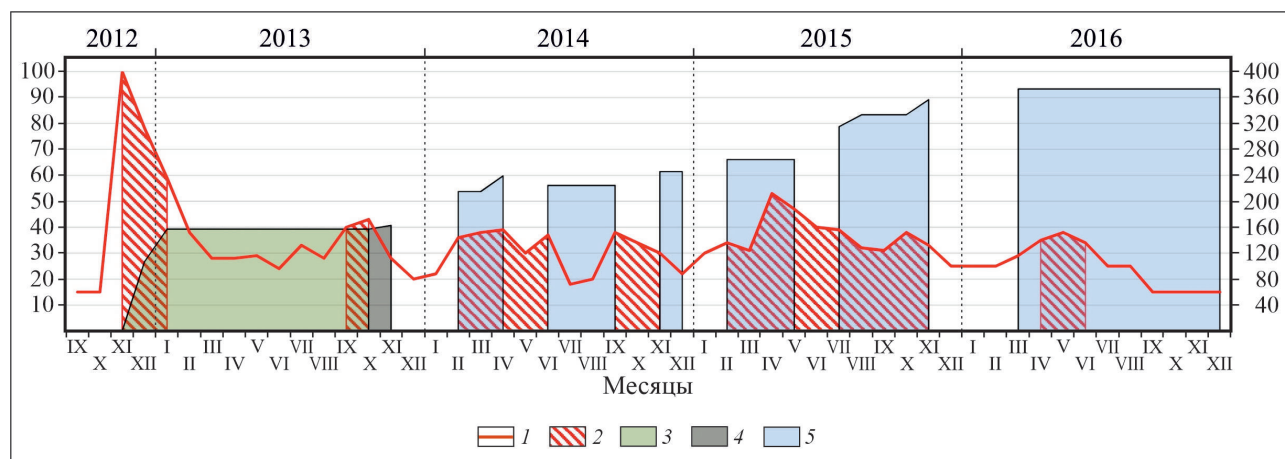


Рис. 5. Сводный график изменения площади новообразованной суши о. Чирпой (тыс. м², правая ось ординат) и значений термальных аномалий (ТА, левая ось ординат) кратерной зоны вул. Сноу по месяцам за 2012–2016 гг.: 1 — линия динамики индекса ТА; 2 — периоды максимальных значений регистрируемого теплового излучения; 3 — период формирования и проградации южной ЛД; 4 — период формирования и проградации северной ЛД; 5 — период проградации северной и разрушения южной ЛД.

Fig. 5. Summary graph of changes in the area of newly formed land on Chirpoi Island (thousand m², right ordinate axis) and values of thermal anomalies (TA, left ordinate axis) of the crater zone of Snow Volcano by months for 2012–2016: 1 — of dynamics of the TA index, 2 — periods of maximum values of the registered thermal radiation, 3 — period of formation and progradation of the southern LD, 4 — period of formation and progradation of the northern LD, 5 — period of progradation of the northern and destruction of the southern LD.

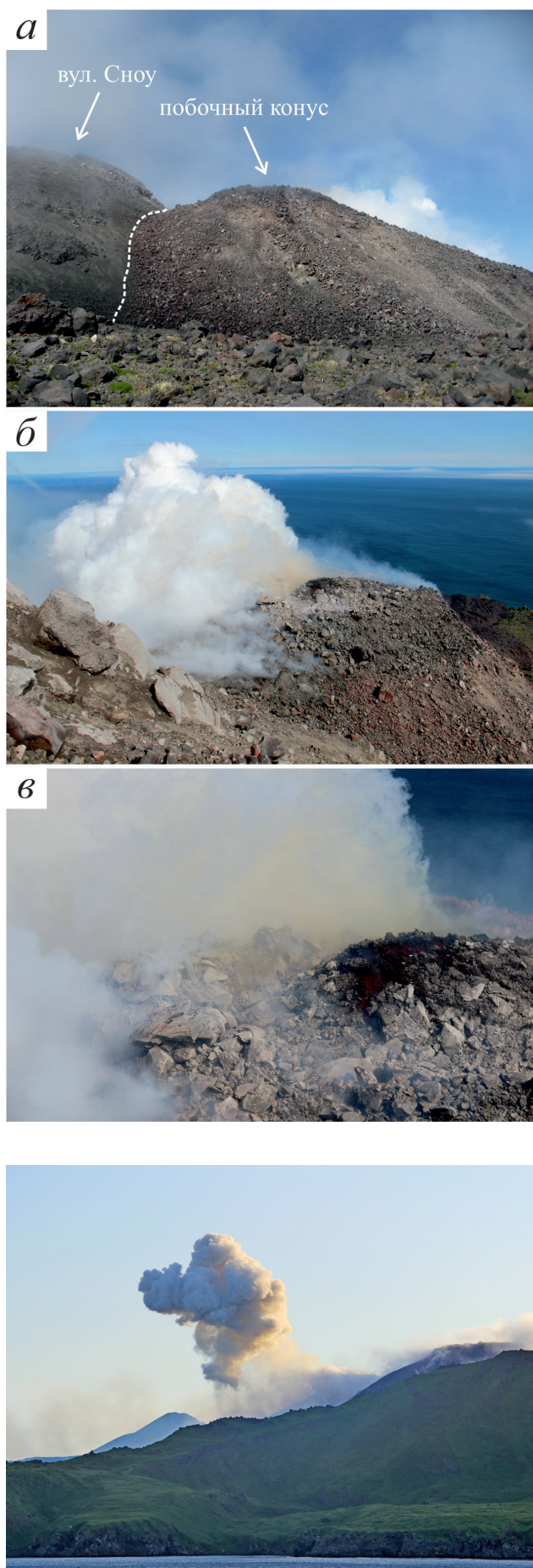


Рис. 6. Побочный конус вул. Сноу, извержения 2012–2016 гг.: *а* — вид с северо-запада, видна граница («плечо») ПК и постройки вулкана Сноу; *б* — привершинная часть ПК (вид с северо-запада, с кромки кратера вул. Сноу); *в* — «прорывающаяся» через жерло ПК лава малиново-красного цвета. Фото М.В. Чибисовой, А.В. Дегтерева, 02.08.2015.

Fig. 6. Side cone of Snow volcano (SC), 2012–2016 eruption: *a* — view from the northwest, the boundary («shoulder») of the SC and the Snow volcano are visible; *b* — the summit part of the SC (view from the northwest, from the edge of the Snow volcano crater); *v* — crimson-red lava «breaking through» the SC crater. Photo by M.V. Chibisova, A.V. Degterev, 02.08.2015.

фронтальной части, активной дегазацией с выделением большого количества пара. Кроме того, при наблюдении с вершины вул. Сноу непосредственно из побочного конуса наблюдалось пульсирующее выжимание раскаленной малиново-красной лавы, сопровождаемое периодическим выделением газов с сильным шумом (рис. 6б, 6в). Периодически происходили парогазовые выбросы: 2 августа 2015 г. было зафиксировано не менее 12 парогазовых выбросов, 2 из которых были относительно сильными (рис. 7). Также, ночью при наблюдении с борта корабля, стоящего на рейде близ о. Чирпой, наблюдалось свечение лавы, изливающейся по склону вулкана.

Продукты извержения вул. Сноу 2012–2015 гг. представлены главным образом темно-серыми слабопористыми глыбовыми лавами. Незначительную долю составляла тефра — пористые вулканические бомбы, лапилли (вблизи прорыва) и разнозернистый пепел, который был обнаружен в северо-восточной части острова, на удалении ~3 км от ПК (рис. 1). Структура образцов порфировая, с вкрапленниками плагиоклаза (25–35%). Породообразующие минералы образуют стандартный «андезитовый» набор из плагиоклаза, орто- и клинопироксена, титаномагнетита. Кроме того, в ряде образцов отмечены редкие включения фрагментов алливалитоподобных образований.

Петрохимический состав изученных вулкаников, представленный в таблице, соответствует известково-щелочным умеренно-калиевым андезитам (SiO_2 57.43–59.54, K_2O 0.95–1.16 мас. %) — наиболее типичным и распространенным продуктам современных активных вулканов Курильской островной дуги (рис. 8) (Мартынов и др., 2010; Подводный..., 1992; Федорченко и др., 1989). Распределения нормированных

Рис. 7. Парогазовые выбросы из ПК вул. Сноу (вид с северо-востока), август 2015 г. Фото А.В. Рыбина, 02.08.2015.

Fig. 7. Steam-gas emissions from the SC of Snow volcano (view from the northeast), August 2015. Photo by A.V. Rybin, 02.08.2015.

ЭФФУЗИВНОЕ ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНА СНОУ

Петрогенные окислы (мас. %) и микроэлементы (ppm) пород вулкана Сноу

Petrogenous oxides (wt %) and trace elements (ppm) of rocks from Snow Volcano

Образец	P94/44	P94/39	P94/42	P94/43	P31/2015	P33/2015	P34/2015	P35/2015	МЧ7/2015
Тип образца	Лава	Лава	Лава	Лава	Лава	Лава	Лава	Шлаковая бомба	Пепел
Возраст	голоцен	голоцен	голоцен	голоцен	2012-2015 гг.	2012-2015 гг.	2012-2015 гг.	2012-2015 гг.	2012-2015 гг.
SiO ₂	61.24	59.50	61.35	60.84	58.68	59.15	59.54	58.94	57.43
TiO ₂	0.71	0.72	0.72	0.73	0.73	0.73	0.75	0.75	0.71
Al ₂ O ₃	15.91	16.26	16.02	15.68	16.62	16.63	16.37	16.58	16.27
Fe ₂ O ₃	2.58	3.47	3.48	2.77	2.43	2.89	2.81	3.07	3.35
FeO	4.57	4.37	3.80	4.92	5.36	4.73	4.91	4.65	4.82
MnO	0.14	0.15	0.14	0.15	0.16	0.15	0.15	0.15	0.17
MgO	3.01	3.32	2.83	3.03	3.58	3.40	3.49	3.39	4.14
CaO	7.00	7.68	6.80	7.09	7.68	7.65	7.39	7.67	8.04
Na ₂ O	3.35	3.19	3.34	3.31	3.07	3.17	3.11	3.11	2.86
K ₂ O	1.37	1.20	1.40	1.35	1.11	1.14	1.16	1.11	0.95
P ₂ O ₅	0.12	0.13	0.12	0.13	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07
п.п.п.	0.30	0.44	0.84	0.60	0.42	0.35	0.39	0.52	0.95
H ₂ O-	0.07	0.04	0.21	0.08	<ПО	<ПО	0.01	0.01	0.01
Сумма	100.10	100.02	100.04	99.95	99.93	100.09	100.16	100.05	99.78
Be	0.57	0.60	0.59	0.61	0.60	0.63	0.60	0.60	0.55
Sc	27.44	30.31	27.15	30.04	33.90	33.53	32.91	32.69	37.65
V	198.90	224.30	205.40	219.70	213.70	212.80	213.50	223.50	222.90
Cr	13.00	13.40	12.90	15.20	15.10	14.96	15.48	16.71	18.22
Co	19.44	22.78	19.46	22.01	24.15	23.05	23.39	22.59	26.58
Ni	9.98	10.53	9.17	10.61	11.47	12.14	10.65	9.29	12.51
Cu	24.00	48.10	48.50	35.10	97.48	62.18	57.45	66.19	60.42
Zn	69.00	72.72	69.00	70.70	62.41	59.78	63.04	58.92	64.44
Ga	16.91	17.36	16.88	17.63	18.47	18.71	18.17	18.08	18.08
As	-	-	-	-	1.55	2.12	1.57	1.68	1.38
Li	10.54	9.62	10.81	10.61	-	-	-	-	-
Rb	25.06	22.19	25.24	24.99	22.16	22.19	22.85	21.27	17.84
Sr	254.00	275.30	251.70	260.00	303.70	306.70	296.80	304.30	304.80
Y	27.98	26.37	27.86	27.47	25.35	25.73	25.38	25.19	22.98
Zr	129.40	110.99	128.76	123.80	100.20	100.90	101.20	98.42	83.90
Nb	2.31	2.08	2.42	2.35	1.86	1.92	2.04	2.00	1.70
Mo	1.79	1.52	1.77	1.72	1.35	1.41	1.38	1.43	1.23
Cd	0.22	0.19	0.15	0.16	0.13	0.12	0.12	0.11	0.13
Sn	0.90	0.86	0.96	0.91	0.81	0.88	0.86	0.90	0.84
Cs	1.51	1.27	1.48	1.42	1.17	1.20	1.20	1.17	1.00
Ba	258.64	228.73	257.76	250.05	237.70	239.00	245.60	235.20	207.70
La	8.73	8.05	8.78	8.65	7.29	7.47	7.47	7.42	6.42
Ce	20.94	19.00	20.99	20.48	18.53	18.64	18.79	18.34	16.19
Pr	2.89	2.66	2.89	2.86	2.45	2.52	2.58	2.58	2.16
Nd	13.43	12.09	13.28	13.09	12.47	12.29	12.86	12.52	10.87

Таблица. Окончание

Table. Continued

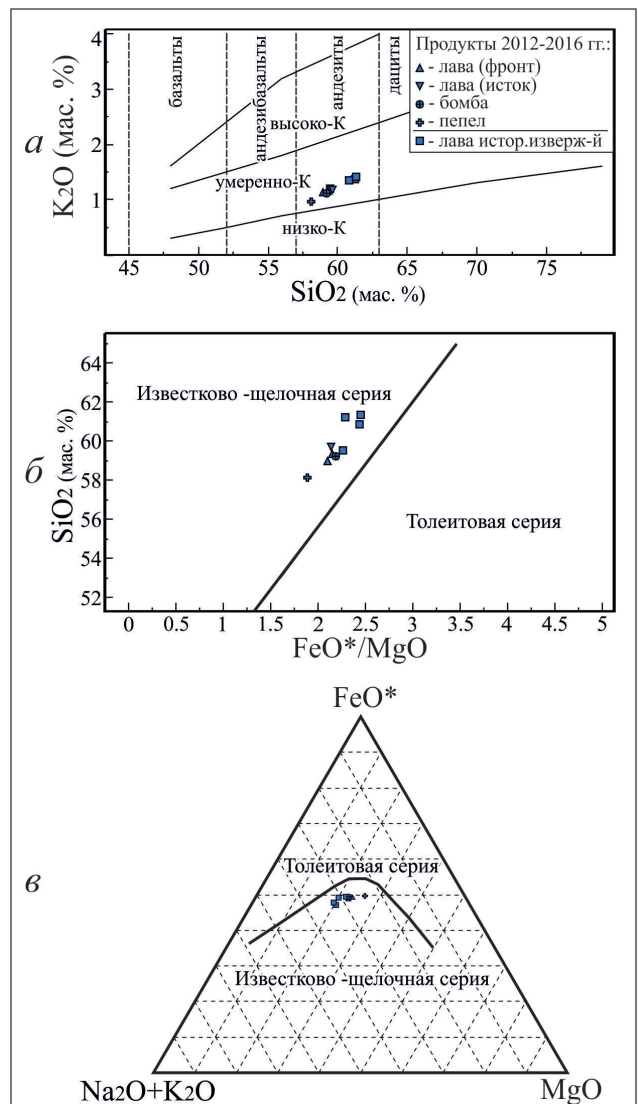
Sm	3.53	3.24	3.45	3.54	3.30	3.39	3.42	3.42	2.92
Eu	0.92	0.93	0.91	0.89	0.89	0.94	0.91	0.93	0.88
Gd	3.93	3.77	3.97	3.87	3.82	3.91	3.90	3.91	3.49
Tb	0.72	0.63	0.68	0.66	0.59	0.60	0.59	0.59	0.56
Dy	4.52	4.12	4.40	4.35	4.09	4.27	4.29	4.20	3.80
Ho	0.97	0.87	0.96	0.95	0.82	0.89	0.85	0.84	0.78
Er	2.99	2.66	2.91	2.95	2.83	2.68	2.68	2.78	2.53
Tm	0.44	0.39	0.42	0.43	0.37	0.37	0.38	0.37	0.37
Yb	2.99	2.65	2.87	2.93	2.73	2.70	2.81	2.64	2.46
Lu	0.45	0.41	0.45	0.44	0.37	0.37	0.38	0.38	0.35
Hf	3.16	2.63	3.11	3.02	2.51	2.43	2.48	2.43	2.18
Ta	0.15	0.13	0.15	0.16	0.12	0.12	0.12	0.13	0.10
W	0.35	0.33	0.38	0.35	0.30	0.28	0.28	0.30	0.22
Pb	9.06	7.91	8.28	10.12	6.02	6.01	6.44	6.28	5.83
Th	2.70	2.31	2.63	2.56	1.49	1.52	1.60	1.53	1.25
U	0.98	0.87	1.00	0.98	0.55	0.54	0.60	0.54	0.48

значений редкоземельных и микроэлементов на спайдер-диаграммах образуют характерные для островодужных вулканитов спектры: относительно высокие концентрации крупноионных литофилов и легких редкоземельных элементов при типично низких концентрациях высокозарядных элементов (рис. 9).

Сравнение вещественного состава продуктов извержения 2012–2016 гг. с продуктами более ранних исторических извержений показывает их практически полную идентичность как в отношении вариаций петрогенных элементов, так и в распределении нормированных значений микро- и редкоземельных элементов (рис. 9). Все они относятся к таким же известково-щелочным умеренно-калиевым андезитам. Единственным их отличием является более высокое содержание кремнезема в свежих образцах (на 2–3 мас. %),

Рис. 8. Классификационные диаграммы для изверженных пород вул. Сноу: *a* — диаграмма K_2O-SiO_2 по (Peccherillo, Taylor, 1976) с изменениями (границы серии «базальт – дацит» приведены в соответствии с классификацией вулканических пород (Le Bas et al., 1986)); *b* — диаграмма SiO_2-FeO^*/MgO по (Miyashiro, 1974); *в* — AFM-диаграмма ($Na_2O+K_2O-FeO^*-MgO$) по (Irvine, Baragar, 1971).

Fig. 8. Classification diagrams for igneous rocks of Snow volcano: *a* — K_2O-SiO_2 diagram according to (Peccherillo, Taylor, 1976) with modifications (the boundaries of the «basalt – dacite» series are given in accordance with the classification of volcanic rocks (Le Bas et al., 1986)); *b* — SiO_2-FeO^*/MgO diagram according to (Miyashiro, 1974); *в* — AFM-diagram ($Na_2O+K_2O-FeO^*-MgO$) according to (Irvine, Baragar, 1971).



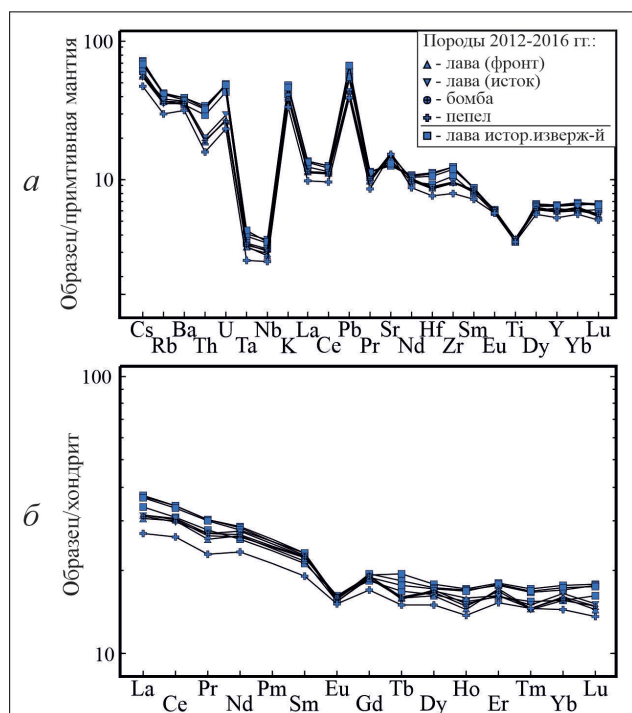


Рис. 9. Спектры распределения микро- и редкоземельных элементов (г/т) в изверженных породах вул. Сноу, нормализованные к примитивной мантии (а) (McDonough, Sun, 1995) и хондриту (б) (Sun, McDonough, 1989).

Fig. 9. Distribution spectra of micro- and rare earth elements (g/t) in igneous rocks of Snow volcano normalized to primitive mantle (a) (McDonough, Sun, 1995) and chondrite (b) (Sun, McDonough, 1989).

чему соответствует закономерное увеличение содержания K_2O , образуя четко выраженную линию тренда (рис. 8).

Для всех образцов характерно наличие отрицательной европиевой аномалии, являющейся индикатором активности кислорода и формально указывающей на фракционирование плагиоклаза в очаге.

ХРОНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЛАВОВЫХ ДЕЛЬТ

По результатам изучения разновременных спутниковых снимков, представленных главным образом данными Landsat 8, было установлено, что развитие ЛД происходило не общим фронтом, а последовательно в двух секторах: юго-восточном и востоко-юго-восточном (для удобства будут обозначены как «южная» и «северная» ЛД соответственно). Южная ЛД сформировалась в период с 18.11.2012 по 9.01.2013 гг. (рис. 5), после чего началось ее постепенное разрушение, наиболее интенсивно происходившее на протяжении первых двух лет — в 2013–2015 гг. С ноября 2013 г. началось образование северной ЛД, програди-

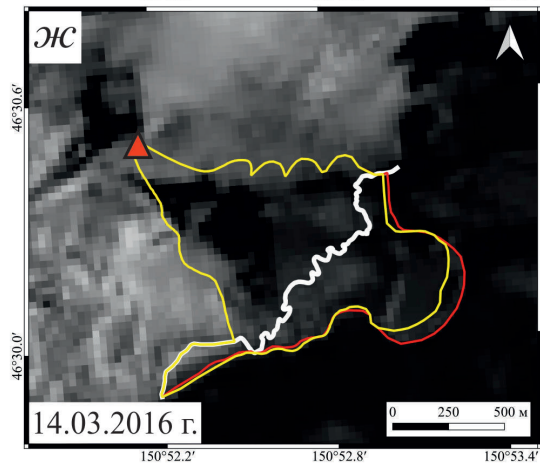
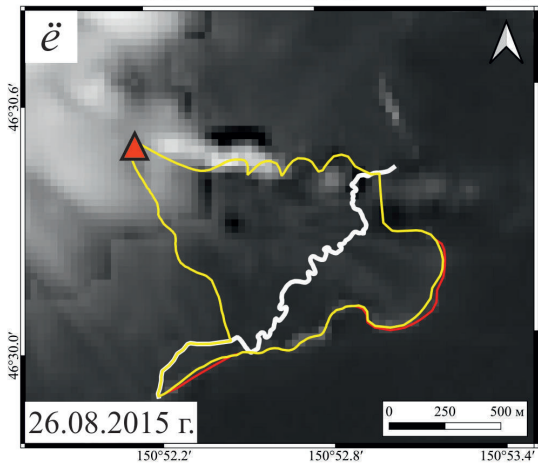
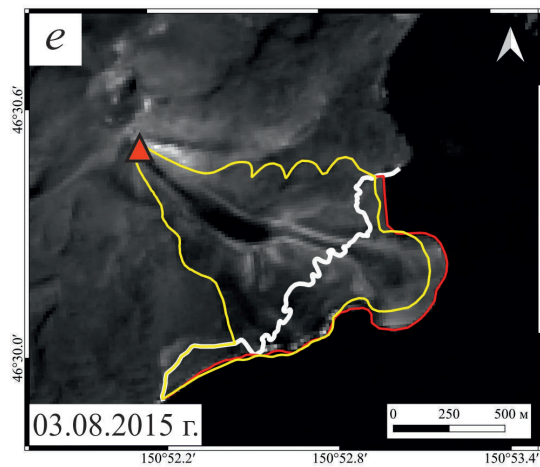
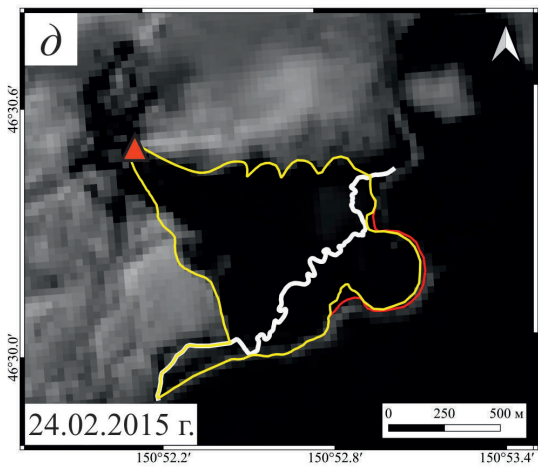
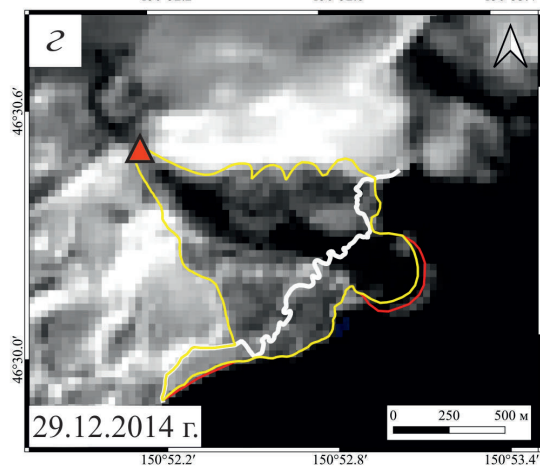
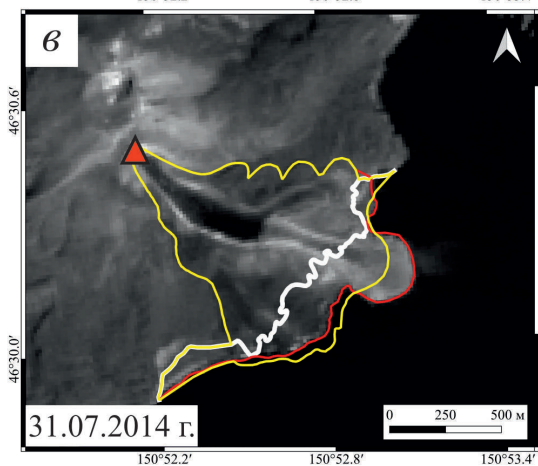
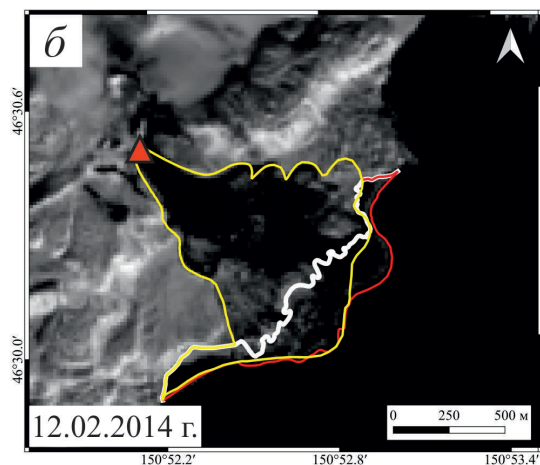
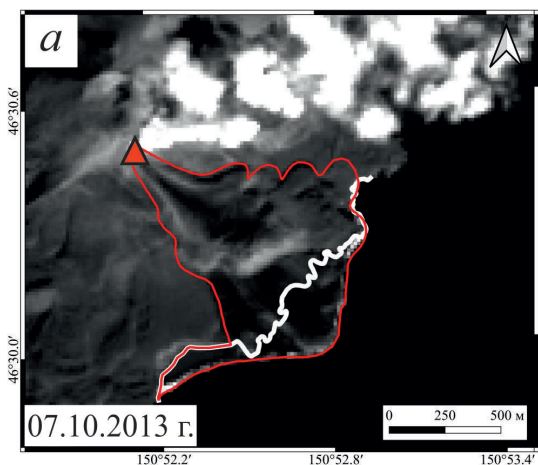
рующей параллельно с разрушением южной ЛД вплоть до 2016 г. (рис. 10). Приведем хронологию формирования ЛД за 2012–2016 гг., разделенную на периоды, соответствующие их фиксируемому по данным ДЗЗ приросту (следует отметить, что представленные на рис. 10 спутниковые снимки Landsat 8, иллюстрирующие динамику ЛД, по своим календарным датам в точности не совпадают с датами начала и конца периодов образования ЛД, приведенных ниже, что связано с отсутствием кондиционных снимков на соответствующую дату).

1. 18.11.2012 – 09.01.2013 гг. С середины ноября 2012 г. началось излияние лавы из ПК на юго-восточном склоне вул. Сноу. По меньшей мере 18.11.2012 г. ЛП достиг моря и начал свое продвижение по островному шельфу; площадь лавового покрова на суше к тому времени составила 502.1 тыс. m^2 и в дальнейшем существенно не менялась. Площадь начавшей формироваться южной ЛД составила ~107.4 тыс. m^2 (здесь и далее приводится не общая площадь лавового потока, а площадь новообразованных участков суши). По данным ДЗЗ, ее прирост прослеживался до 09.01.2013 г. включительно — к этому моменту общая площадь новообразованной суши достигла 157 тыс. m^2 . Также, между февралем и июлем 2013 г. неизвестными темпами (отсутствуют приемлемые по качеству материалы спутниковой съемки за этот период времени) произошло формирование южного пляжа (рис. 10а), образовавшегося в результате разрушения слаболитифицированной поверхности лавового потока (агломератового панциря), переотложенного под действием абразии и вдоль-береговых течений.

На протяжении последующих ~9 месяцев, с 09.01.2013 г. по 07.10.2013 г., фронт лавового потока находился в стабильном состоянии,

Рис. 10. Картографические (спутниковые) изображения развития ЛД и пляжей вул. Сноу во времени. Белая линия соответствует положению береговой линии до извержения 2012–2016 гг., красная — ее положению на приведенном снимке, желтая — предшествующему этапу ее развития. Красным треугольником обозначен эруптивный центр.

Fig. 10. Cartographic (satellite) images of the development of LD and beaches of Snow volcano over time. The white line corresponds to the position of the coastline before the 2012–2016 eruption, the red line corresponds to its position in the given image, and the yellow line corresponds to the previous stage of its development. The eruptive center is marked with the red triangle.



не обнаруживая заметных подвижек (прим. авторов: дешифрируемые спутниковые снимки Landsat 7 (ETM Plus Collection 2 Level-2) за 18.11.2012 и 25.01.2013 гг. в работе не приводятся ввиду их непрезентабельности: 31 мая 2003 г. вышел из строя прибор Scan Line Corrector (SLC) в инструменте ETM+ на Landsat 7, вследствие чего получаемые спутником изображения имеют вид «зигзага», когда некоторые участки поверхности снимаются дважды, а некоторые вообще не снимаются).

2. 07.10.2013 – 12.02.2014 гг. 07.10.2013 г. проградация первичного лавового берега возобновилась и началось формирование северной ЛД (рис. 10б). В течение первого месяца площадь новообразованной суши выросла на 5.8 тыс. м² (162.8 тыс. м² по состоянию на 8.11.2013 г.). При этом интенсивность прироста значительно увеличилась к середине ноября 2013 г. По состоянию на 12.02.2014 г. общая площадь новообразованной суши достигла 214.9 тыс. м². В этот промежуток времени сформировался северный пляж, синхронно с формированием северной ЛД в октябре–ноябре. Южная ЛД, напротив, начала разрушаться и отступать. Площадь и положение южного пляжа, судя по имеющимся данным, существенно не изменились.

3. 9.03.2014 – 4.06.2014 гг. 9.03.2014 г. продолжилось формирование северной ЛД. Наиболее интенсивное поступление материала отмечалось с марта по апрель 2014 г.; общий прирост с 9.03.2014 по 26.04.2014 составил 24.3 тыс. м² (общ. площадь новообразованной суши — 239.2 тыс. м²). В течение этого периода произошли значительный прирост северной и продолжающееся сокращение южной ЛД. При этом с конца апреля по начало июня 2014 г. зафиксировано уменьшение общей площади новообразованной суши (на 14.8 тыс. м²), обусловленное более интенсивным разрушением южной ЛД, которое не смогла компенсировать продолжающаяся проградация северной дельты. Кроме того, в апреле 2014 г. наблюдалось заметное увеличение площади южного пляжа, резко уменьшившееся к июлю и в итоге достигнувшее значений, сопоставимых с февралем 2014 г. Также существенно уменьшилась площадь северного пляжа. В результате к концу периода (4.06.2014 г.) общая площадь новообразованной суши составляла 224.4 тыс. м².

4. 24.09.2014 – 20.11.2014 гг. В сентябре 2014 г. возобновился прирост северной ЛД, происходивший на фоне незначительного сокращения южной. Также отмечен прирост южного пляжа. Прирост лавового берега по состоянию на 20.11.2014 г. составил 21.3 тыс. м² при общей площади новообразованной суши 245.7 тыс. м².

5. 29.12.2014 – 15.02.2015 гг. В конце 2014 г. продвижение северной ЛД возобновилось (рис. 10г).

Зафиксировано увеличение площади северного пляжа. За 1.5 месяца прирост новообразованной суши составил 18.7 тыс. м². Южная ЛД, напротив, незначительно отступила. Общая площадь новообразованной суши по состоянию на 15.02.2015 г. составила 264.4 тыс. м².

6. 6.05.2015 – 9.07.2015 гг. Значительное увеличение северных пляжа и ЛД. Наиболее интенсивный за весь период наблюдений прирост ЛД, составивший 50.6 тыс. м² за ~2 месяца (25.3 тыс. м²/мес.). Незначительное сокращение южного пляжа. Общая площадь новообразованной суши по состоянию на 9.07.2015 г. составила 315 тыс. м².

7. 2.08.2015 – 26.08.2015 гг. Интенсивное увеличение северной ЛД, сопоставимое с предыдущим периодом (18.4 тыс. м² за 23 дня). Также в течение этого периода отмечен небольшой прирост южного пляжа (рис. 10е). Общая площадь новообразованной суши по состоянию на 26.08.2015 г. составила 333.4 тыс. м².

Начало этого импульса продвижения лавы авторам удалось наблюдать воочию при проведении полевых работ на о. Чирпой 1–2 августа 2015 г. (рис. 11). Фронтальная часть потока осыпалась, активно парила и дегазировала в зоне контакта с морской водой. Изредка отмечалось подобие слабых фреатических взрывов, возникших в результате прорыва перегретого пара.

8. 6.10.2015 – 14.03.2016 гг. Существенное увеличение северных пляжа и ЛД. Незначительное сокращение южных ЛД и пляжа (рис. 10ж). Прирост новообразованной суши за этот период составил 39.8 тыс. м², общая ее площадь — 373.2 тыс. м².

Таким образом, в результате эффузивной деятельности вул. Сноу за 2012–2016 гг. суммарная площадь сформировавшегося лавового покрова составила 875.3 тыс. м². Общий объем излившейся лавы по нашим подсчетам оценивается в 0.043 км³ (из расчета средней мощности лавового покрова ~50 м). Данная оценка является приблизительной, поскольку из-за отсутствия детальных батиметрических данных невозможно объективно подсчитать объем лавы, излившейся за пределы острова.

По состоянию на 07.07.2017 г. общая площадь лавового покрова вместе с новообразованными пляжами о. Чирпой, сформировавшихся в результате длительного эффузивного извержения, составила 864.6 тыс. м² (в т. ч. 362.5 тыс. м² новообразованной суши). Южная ЛД и южный пляж практически не претерпели никаких изменений. Несущественно сократилась северная ЛД, в то время как северный пляж, напротив, характеризовался значительным приростом площади. Основное сокращение новообразованной суши, лишь отчасти скомпенсированное приращением



Рис. 11. Излияние лавового потока (ЛП) на вул. Сноу, 1–2 августа 2015 г.: *а* — граница суши и акватории, которую пересекает ЛП (вид с севера); *б* — фронтальная часть ЛП, продвигающегося по шельфу (вид с востока); *в* — южная граница ЛП (вид с верхней части вул. Сноу). Фото А.В. Рыбина, М.В. Чибисовой.

Fig. 11. Eruption of a lava flow (LF) on Snow volcano, August 1–2, 2015: *a* — boundary of land and water area crossed by the LF (view from the north); *b* — frontal part of the LF moving along the shelf (view from the east); *c* — southern boundary of the LF (view from the summit of Snow volcano). Photo by A.V. Rybin, M.V. Chibisova.

рушения суши, несмотря на существенный прирост северного пляжа, вновь произошло за счет уменьшения площади северной ЛД.

В последующие годы, вплоть до текущего момента картина существенно не изменилась — лавовый берег стабилизировался (рис. 12).

Интенсивное разрушение ЛД в первые годы после их образования, судя по всему, было обусловлено тем, что фронтальные части лавового потока из-за своей закаленной, слаболитифицированной поверхности являются наименее устойчивыми к абразии и волноприбойным процессам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Извержение, происходившее на о. Чирпой в 2012–2016 гг., представляет собой характерный эпизод современного этапа эруптивной истории вул. Сноу и геологического развития о. Чирпой — длительное магматическое извержение, сопровождаемое излиянием андезитовой лавы. Суммарная площадь лавового покрова и обломочного материала, сформировавшегося в результате эффузивной деятельности вулкана за 2012–2016 гг., составила 875.3 тыс. м², из них 502.1 тыс. м² на склонах вулканической постройки и 373.2 тыс. м² на прилегающем к острову шельфе (ЛД и вулканические пляжи). Общий объем лавы, излившейся в результате извержения, составил 0.043 км³. Несмотря на относительную редкость таких извержений на о. Чирпой, за историческое время они происходили дважды (последнее из которых 133 г. назад); именно они выполняют основной геоморфологический эффект, обеспечивая латеральный прирост островной суши путем последовательно изливающихся на прилегающий шельф потоков глыбовых глав.

Постэруптивная трансформация первичного вулканического берега наиболее активно проявилась в первые два года после извержения — в 2017–2018 гг. Общая площадь новообразованной суши к концу мая 2018 г. сократилась на 21.1 тыс м², составив 854.2 тыс. м². В последующие годы вплоть до настоящего времени существенных

северного пляжа, произошло за счет деградации северной ЛД. По состоянию на 23.05.2018 г. общая площадь отложений составляла 854.2 тыс. м² (352.1 тыс. м² новообразованной). При этом в отношении динамики постэруптивной трансформации ЛД наблюдалась картина, аналогичная предыдущему году: южная ЛД и южный пляж практически не изменились за исключением мелкокомасштабных флуктуаций в пределах береговой линии, связанных, вероятно, с небольшими перераспределениями материала малых пляжей, либо более крупнообломочного материала. Площадь северной ЛД сократилась незначительно, в то время как северный пляж увеличился довольно заметно, выполнив северную границу лавовой дельты. Таким образом, основное раз-

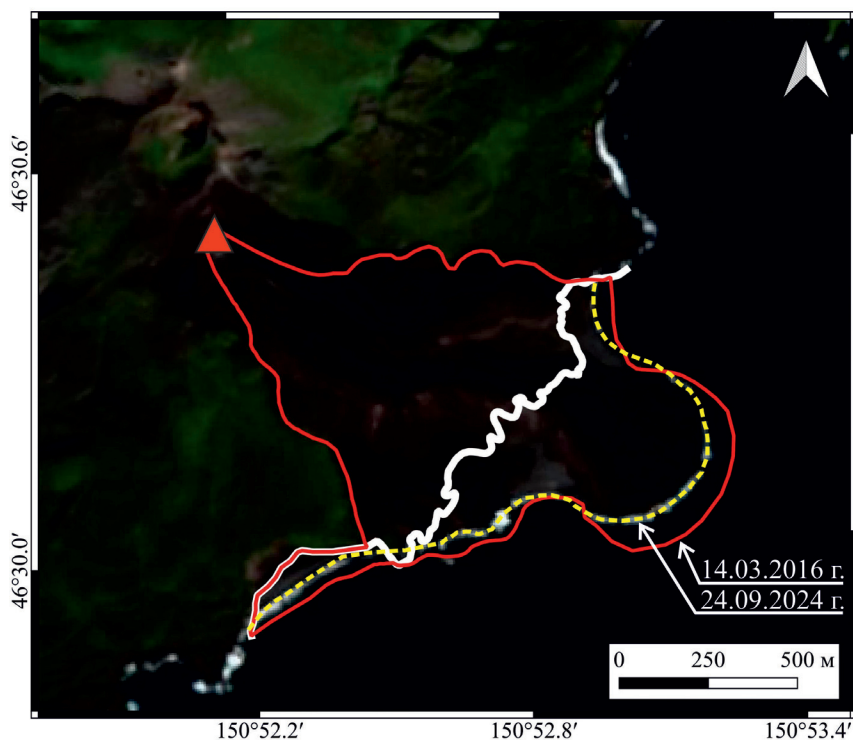


Рис. 12. Картографическое (спутниковое) отображение постэруптивной трансформации новообразованной суши о. Чирпой. Белая линия соответствует положению береговой линии до извержения 2012–2016 гг. Красная линия отвечает границе максимального распространения лавовых потоков, желтый пунктир — их стабилизировавшемуся положению.

Fig. 12. Cartographic (satellite) mapping of post-eruptive transformation of the newly formed land of Chirpoi Island. The white line corresponds to the position of the coastline before the 2012–2016 eruption. The red line corresponds to the boundary of the maximum distribution of lava flows, the yellow dotted line — to their stabilized position.

изменений отмечено не было — лавовый берег стабилизировался.

Химический состав продуктов извержения соответствует известково-щелочным умеренно-калиевым андезитам с характерными для андезитовых островодужных вулканов содержаниями микро- и редкоземельных элементов. Сравнение вещественного состава вулканитов последнего извержения вул. Сноу с продуктами его исторических извержений показывает их почти полную идентичность, свидетельствующую о стабильности вулcano-магматической системы за последние сотни лет.

Изучение динамики прироста ЛД и периодов максимальной мощности теплового излучения, соответствующих импульсам поступления лавы на поверхность, обнаруживают хорошую сходимость результатов, обусловленных прямой зависимостью между поступлением лавового материала, его транспортировкой по склону вулкана и отложением на прилегающий шельф в виде ЛД. Некоторое «запаздывание», наблюдаемое практически в каждом периоде, объясняется временем, необходимым для транспортировки материала, и реологическими особенностями андезитовых потоков.

Авторы выражают благодарность экипажу научно-исследовательского судна «Искатель-4», обеспечивающего проведение экспедиционных работ на Курильских островах в 2015 г. в рамках проекта НИОКР «Мониторинг-СГ».

Источники финансирования. Работа была выполнена в соответствии с госзаданием ИМГиГ ДВО РАН № 1021050500989-2-1.5.7.

Список литературы [References]

- Белоусов А.Б., Белоусова М.Г.* Гигантские обрушения на вулканах в XX-ом веке // *Природа*. 1997. № 11. С. 70–81 [*Belousov A.B., Belousova M.G.* Giant volcano collapses in the 20th century // *Nature*. 1997. № 11. P. 70–81 (in Russian)].
- Бондаренко В.И., Рашидов В.А.* Вулканический массив Черных Братьев (Курильские острова) // *Вулканоология и сейсмология*. 2003а. № 3. С. 35–51 [*Bondarenko V.I., Rashidov V.A.* Volcanic massif of the Chernye Bratia (Kurile Islands) // *Vulkanology and Seismology*. 2003a. № 3. P. 35–51 (in Russian)].
- Бондаренко В.И., Рашидов В.А.* О возможной подводной вулканической активности в районе островов Черные Братья (Курильские острова) // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2003б. № 2. С. 80–88 [*Bondarenko V.I., Rashidov V.A.* On probable submarine volcanic activity in region the Chernye Bratia island volcanic (the Kurile Islands) // *Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle*. 2003b. № 2. P. 80–88 (in Russian)].
- Бондаренко В.И., Рашидов В.А.* Подводная газо-гидротермальная активность в пределах Курильской островной дуги // *Геосистемы переходных зон*. 2021. Т. 5. № 1. С. 4–13. <https://doi.org/10.30730/gtrz.2021.5.1.004-013> [*Bondarenko V.I., Rashidov V.A.* Underwater gas-hydrothermal activity within the Kuril island arc // *Geosystems of Transition Zones*. 2021. V. 5. № 1. P. 4–13 (in Russian)].
- Гальцев-Безюк С.Д.* Топонимический словарь Сахалинской области. Южно-Сахалинск: Дальневосточное книжное изд-во, Сахалинское отделение, 1992. 281 с. [*Gal'tsev-Bezyuk S.D.* Toponimicheskii slovar' Sahalinskoy oblasti. Yuzhno-Sahalinsk: Dal'nevostochnoye knizhnoye izd-vo, Sahalinskoye otdeleniye, 1992. 281 p. (in Russian)].

- Головнин В.М. Путешествие на шлюпе «Диана» из Кронштадта в Камчатку, совершенное под начальством флота лейтенанта Головнина в 1807–1811 годах. М.: Первая Образцовая типография им. А.А. Жданова Московского городского Совнархоза, 1960. 480 с. [Golovnin V.M. Puteshestviye na shlyupe «Diana» iz Kronshtadta v Kamchatku, sovershennoye pod nachal'stvom flota leytenanta Golovnina v 1807–1811 godakh. Moscow: Pervaya Obratstovaya tipografiya im. A.A. Zhdanova Moskovskogo gorodskogo Sovnarkhoza, 1960. 480 p. (in Russian)].
- Гордеев Е.И., Гирина О.А., Лупян Е.А. и др. Информационная система VolSatView для решения задач мониторинга вулканической активности Камчатки и Курил // Вулканология и сейсмология. 2016. № 6. С. 1–16. <https://doi.org/10.7868/S0203030616060043> [Gordeev E.I., Girina O.A., Lupyana E.A. et al. The VolSatView information system for Monitoring the Volcanic Activity in Kamchatka and on the Kuril Islands // Journal of Volcanology and Seismology. 2016. V. 10. № 6. P. 382–394. <https://doi.org/10.1134/S074204631606004X>].
- Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 287 с. [Gorshkov G.S. Volcanism and the Upper Mantle: Investigations in the Kurile Island Arc (Monographs in Geoscience). New York-London: Plenum Press, 1970. 385 p. (in Russian)].
- Дегтерев А.В., Жарков Р.В., Козлов Д.Н. Сольфатарно-гидротермальная активность вулканов Севергина, Синарка, Сарычева, Черного и Сноу в 2008 году // Материалы IV Сахалинской молодежной научной школы «Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз», г. Южно-Сахалинск, 2–5 июня 2009 г. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2010. С. 133–143 [Degterev A.V., Zarkov R.V., Kozlov D.N. Solfatar-hydrothermal activity of the Severgin, Sinarka, Sarychev, Cherny and Snow volcanoes in 2008 // Materials of the IV Sakhalin Youth Scientific School «Natural Disasters: Study, Monitoring, Forecast», Yuzhno-Sakhalinsk, June 2–5, 2009. Yuzhno-Sakhalinsk: IMG&G FEB RAS, 2010. P. 133–143 (in Russian)].
- Дитмар К. Поездки и пребывание в Камчатке в 1851–1855 гг.: Часть первая. Исторический отчет по путевым дневникам. СПб., 1901. Петропавловск-Камчатский: Холдинговая компания «Новая книга», 2009. 300 с. [Ditmar K. Poyezdki i prebyvaniye v Kamchatke v 1851–1855 gg.: Chast' pervaya. Istoricheskiy otchet po putevym dnevnikom. SPb., 1901. Petropavlovsk-Kamchatskiy: Kholdingovaya kompaniya «Novaya kniga», 2009. 300 p. (in Russian)].
- Ефремов В.Ю., Гирина О.А., Крамарева Л.С. и др. Создание информационного сервиса «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С. 155–170 [Efremov V.Yu., Girina O.A., Kramareva L.S. et al. Creating an Information Service “Remote Monitoring of Active Volcanoes of Kamchatka and the Kuril Islands” // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2012. V. 9. № 5. P. 155–170 (in Russian)].
- Иванов Б.В., Чирков А.М., Дубик Ю.М. и др. Состояние действующих вулканов Камчатки и Курильских островов в 1982 г. // Вулканология и сейсмология. 1984. № 4. С. 104–110 [Ivanov B.V., Chirkov A.M., Dubik Y.M. et al. State of active volcanoes in Kamchatka and the Kurile Islands in 1982 // Vulkanology and Seismology. 1984. № 4. P. 104–110 (in Russian)].
- Левин Б.В., Разжигаева Н.Г., Ганзей К.С. и др. Изменение ландшафтной структуры острова Матуа после извержения вулкана Пик Сарычева 12–15 июня 2009 г. // Доклады Академии наук. 2010. Т. 431. № 5. С. 692–695 [Levin B.V., Razzhigaeva N.G., Ganzei K.S. et al. Changes in the landscape structure of Matua Island after the eruption of the Sarychev Peak volcano on June 12–15, 2009 // Doklady Earth Sciences. 2010. V. 431. № 5. P. 692–695 (in Russian)].
- Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А. и др. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284 [Lupyana E.A., Proshin A.A., Burtsev M.A. et al. IKI center for collective use of satellite data archiving, processing and analysis systems aimed at solving the problems of environmental study and monitoring // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2015. V. 12. № 5. P. 263–284 (in Russian)].
- Мартынов Ю.А., Ханчук А.И., Кимура Дж.И. и др. Геохимия и петрогенезис четвертичных вулканитов Курильской островной дуги. Петрология. 2010. Т. 18. № 5. С. 512–535 [Martynov Yu.A., Khanchuk A.I., Kimura J.-I. et al. Geochemistry and Petrogenesis of Volcanic Rocks in the Kuril Island Arc. Petrology. 2010. Vol. 18. No. 5. P. 512–535 (in Russian)].
- Мельников Д.В., Жижин М.Н., Трифонов Г.М., Пойда А.А. Динамика извержения вулкана Сноу (о. Чирпой, Курильские острова) в 2012–2017 гг.: результаты применения алгоритма VIIRS Nightfire // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 3. С. 69–79. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-3-69-79> [Melnikov D.V., Zhizhin M.N., Trifonov G.M., Poyda A.A. Dynamics of Snow volcano eruption (Chirpoi Island, Kuriles) in 2012–2017: results of VIIRS Nightfire algorithm application // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2018. V. 15. № 3. P. 69–79 (in Russian)].
- Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги. М.: Наука, 1992. 528 с. [Underwater volcanism and zoning of the Kuril Island Arc. Moscow: Nauka, 1992. 528 p. (in Russian)].
- Полонский А.С. Курилы // Краеведческий бюллетень. Южно-Сахалинск. 1994. Вып. 3. С. 3–86 [Polonskiy A.S. Kuriles // Krayevedcheskiy byulleten'. Yuzhno-Sakhalinsk. 1994. Vyp. 3. P. 3–86 (in Russian)].
- Рашидов В.А., Аникин Л.П., Делемень И.Ф. Полевые работы на побочном вулкане Такетоми (о. Атласова, Курильские острова) в августе 2013 года // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013. № 2. Вып. 22. С. 216–224 [Rashidov V.A., Anikin L.P., Delemen I.F. Field work on the secondary volcano Taketomi (Atlasov Island, Kuril Islands) in August 2013. Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2013. № 2(22). P. 216–224 (in Russian)].

- Рашидов В.А., Гирина О.А., Озеров А.Ю., Павлов Н.Н.* Извержение вулкана Райкоке (Курильские острова) в июне 2019 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2019. № 2. Вып. 42. С. 5–8. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2019-2-42-5-8> [*Rashidov V.A., Girina O.A., Ozerov A.Yu., Pavlov N.N.* The June 2019 eruption of Raikoke volcano (the Kurile Islands). Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2019. № 2(42). P. 5–8 (in Russian)].
- Романюк Ф.А., Дегтерев А.В.* Изменение конфигурации береговой линии о. Райкоке после эксплозивного извержения 21–25 июня 2019 г. (Центральные Курильские острова // Геосистемы переходных зон. 2020. Т. 4. № 3. С. 351–358. <https://doi.org/10.30730/gtr.z.2020.4.3.351-358> [*Romanyuk F.A., Degterev A.V.* Transformation of the coastline of Raikoke Island after the explosive eruption on June 21–25, 2019 (Central Kuril Islands) // Geosystems of Transition Zones. 2020. V. 4. № 3. P. 351–358 (in Russian)].
- Рыбин А.В., Богомолов Л.М., Дегтерев А.В. и др.* Полевые вулканологические и экологические исследования на Курильских островах в 2015 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2015. № 4. Вып. 28. С. 94–99 [*Rybin A.V., Bogomolov L.M., Degterev A.V. et al.* Field volcanological and environmental studies on the Kuril Islands in 2015 // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2015. № 4(28). P. 94–99 (in Russian)].
- Рыбин А.В., Дегтерев А.В., Чибисова М.В. и др.* Вулканическая активность на Курильских островах в 2012–2015 гг. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2016. № 2. Вып. 30. С. 77–87 [*Rybin A.V., Degterev A.V., Chibisova M.V. et al.* Volcanic activity in the Kurile Islands in 2012–2015. Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2016. № 2(30). P. 77–87 (in Russian)].
- Рыбин А.В., Чибисова М.В., Дегтерев А.В.* Активность вулканов Курильских островов в 2016 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2017. № 1. Вып. 33. С. 83–88 [*Rybin A.V., Chibisova M.V., Degterev A.V.* Activity of the Kurile Islands Volcanoes in 2016. Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2017. № 1(33). P. 83–88 (in Russian)].
- Рыбин А.В., Чибисова М.В., Дегтерев А.В.* Динамика эруптивной активности и петрохимические особенности изверженных пород вулканов Сноу и Чиринкотан (Курильские острова) // Геодинамические процессы и природные катастрофы: тезисы докладов III Всероссийской научной конференции с международным участием, г. Южно-Сахалинск, 27–31 мая 2019 г. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2019. С. 122 [*Rybin A.V., Chibisova M.V., Degterev A.V.* Dynamics of eruptive activity and petrochemical features of igneous rocks of Snow and Chirinkotan volcanoes (Kurile Islands) // Geodynamical processes and natural hazards: abstracts of the III National scientific conference with foreign participants. Yuzhno-Sakhalinsk, May 27–31, 2019. Yuzhno-Sakhalinsk: IMG&G FEB RAS, 2019. P. 122 (in Russian)].
- Сноу Г.* Записки о Курильских островах // Краеведческий бюллетень. Южно-Сахалинск. 1992. Вып. 1. С. 89–127 [*Snou G.* Notes about the Kuril Islands // Kraevedcheskiy byulleten'. Yuzhno-Sakhalinsk. 1992. Vyp. 1. P. 89–127 (in Russian)].
- Федорченко В.И., Абдурахманов А.И., Родионова Р.И.* Вулканизм Курильской островной дуги: геология и петрогенезис. М.: Наука, 1989. 237 с. [*Fedorchenko V.I., Abdurakhmanov A.I., Rodionova R.I.* Volcanism of the Kuril Island Arc: geology and petrogenesis. Moscow: Nauka, 1989. 237 p. (in Russian)].
- Belousov A., Belousova M.* Large scale landslides on active volcanoes in the 20th century – Examples from the Kurile–Kamchatka region (Russia) // Landslides = Glissements de terrain: proceedings of the Seventh International Symposium on Landslides, 17–21 June 1996, Trondheim. Rotterdam: Balkema. 1996. V. 3. P. 953–957.
- Irvine T.N., Baragar W.R.A.* A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks // Canadian Journal of Earth Sciences. 1971. V. 8. № 5. P. 523–548. <https://doi.org/10.1139/e71-055>
- Le Bas M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B.* A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkalisilica diagram // Journal of Petrology. 1986. V. 27. Iss. 3. P. 745–750.
- McDonough W.F., Sun S.S.* The composition of the Earth // Chemical Geology. 1995. V. 120. Iss. 3–4. P. 223–253. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4)
- Miyashiro A.* Volcanic rock series in island arcs and active continental margins // American Journal of Science. 1974. V. 274, Iss. 4. P. 321–355. <https://doi.org/10.2475/ajs.274.4.321>
- Moore J.G., Phillips R.L., Grigg R.W. et al.* Flow of lava into the sea, 1969–1971, Kilauea Volcano, Hawaii // Geological Society of America Bulletin. 1973. V. 4. № 2. P. 537–546. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1973\)84<537:FOLITS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1973)84<537:FOLITS>2.0.CO;2)
- Peccerillo A., Taylor S.R.* Geochemistry of Eocene calc-alkaline rocks from Kastamonu area, Northern Turkey // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1976. V. 58. P. 63–81. <https://doi.org/10.1007/BF00384745>
- Petrelli M., Poli G., Perugini D., Peccerillo A.* PetroGraph: A new software to visualize, model, and present geochemical data in igneous petrology // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2005. V. 6. № 7. P. 1–15. <https://doi.org/doi:10.1029/2005GC000932>
- Ramalho R.S., Quartau R., Trenhaile A.S. et al.* Coastal evolution on volcanic oceanic islands: a complex interplay between volcanism, erosion, sedimentation, sea-level change and biogenic production // Earth Science Reviews. 2013. V. 127. P. 140–170. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.10.007>
- Rodriguez-Gonzalez A., Fernandez-Turiel J.L., Aulinas M. et al.* Lava deltas, a key landform in oceanic volcanic islands: El Hierro, Canary Islands // Geomorphology. 2022. V. 416. Article Number 108427. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108427>
- Sun S.S., McDonough W.F.* Chemical and isotopic systematics of ocean basalts: implications for mantle composition and processes // Geol. Soc. London. Spec. Pub. 1989. V. 42. № 1. P. 313–345. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- Urai M., Ishizuka Y.* Advantages and challenges of space-borne remote sensing for Volcanic Explosivity Index (VEI): the 2009 eruption of Sarychev Peak on Matua Island, Kuril Islands, Russia // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2011. V. 208. Iss. 3–4. P. 163–168. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2011.07.010>

ДЕГТЕРЕВ и др.

**EFFUSIVE ERUPTION OF SNOW VOLCANO IN 2012–2016
(CHIRPOI ISLAND, KURIL ISLANDS)**

A.V. Degterev, M.V. Chibisova, F.A. Romanyuk, A.V. Rybin

Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, 693022, e-mail: d_a88@mail.ru

Received September 19, 2024; revised December 08, 2025; accepted March 25, 2025

In 2012–2016, Snow Volcano, located on Chirpoy Island (Black Brothers Islands, Kuril Islands), experienced a relatively rare event for the Kuril Island Arc — a collateral effusive eruption. Over a period of three and a half years, a clastic lava flow of andesitic composition poured out of a side cone on the southeastern slope of the volcano. The total area of the lava cover and the clastic material formed as a result of its subsequent destruction currently amounts to 854.1 thousand m², including 502.1 thousand m² on the slope of the volcano and 352 thousand m² on the shelf adjacent to the island. Specific forms of relief were formed — lava deltas and volcanic beaches. The total volume of lava poured out as a result of the eruption amounted to ~0.043 km³. Similar eruptions on Chirpoy Island have occurred twice in historical times (the penultimate eruption occurred in 133 BP). The flows of clastic lava flows that poured out onto the adjacent shelf provided for the growth of the island landmass.

Keywords: Kuril Islands, Chirpoy, Snow volcanic eruption, volcanic geomorphology.