

Краткие сообщения

УДК 551.21

DOI: 10.31431/1816-5524-2022-4-56-117-122

ЛАХАРЫ НА о. АТЛАСОВА В СЕНТЯБРЕ-ОКТЯБРЕ 2022 г. (КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА)

© 2022 Т.А. Котенко

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия, 683006;
e-mail: sinarka2017@mail.ru*

Поступила в редакцию 31.10.2022 г.; после доработки 05.12.2022 г.; принята к публикации 26.12.2022 г.

Приводятся сведения о нивально-вулканогенных, возможно, гляциально-вулканогенных, селях (лахарах) на трех ручьях с южной стороны о. Атласова. Остров представляет собой действующий стратовулкан Алаид высотой 2339 м н.у.м. Эффузивно-эксплозивное извержение вулкана Алаид началось 10 сентября 2022 г. и продолжается до настоящего времени. Наблюдается стромболианская активность вершинного конуса и истечение лавы. Лава заполнила вершинную кальдеру к 27 сентября. Затем лавовый поток перевалил через южную часть гребня кальдеры и начал спускаться вниз по эрозионной депрессии в вершинах водосборов трех безымянных ручьев. Фотосъемка и спутниковые снимки показали наличие селевой трансформации русел, склонов и селевые конусы выноса в устье ручьев. Анализ метеорологических и вулканологических данных показал, что формирование лахаров было вызвано бурным таянием снега/льда под воздействием лавового потока и произошло в период между 29 сентября и 2 октября.

Ключевые слова: Курильские острова, остров Атласова, вулкан Алаид, лахар.

Остров Атласова представляет собой надводную часть действующего вулкана Алаид высотой 2339 м над уровнем моря (координаты вершины: 50°52' с.ш., 155°34' в.д.) в северной части Курильской гряды (рис 1). Основание вулкана на уровне моря размером 12×17 км сливается с подводным вулканом Григорьева, в результате образуется единый вулканический массив Алаид (Блох и др., 2006). Тип постройки вулкана Алаид — сложный стратовулкан (Абдурахманов и др., 1978; Горшков, 1967). Извержения вулкана Алаид классифицируются как стромболианский, вулканский, вулcano-стромболианский и субплинианский типы, изверженные породы представлены субщелочными высокоглиноземистыми базальтами (Абдурахманов и др., 1978; Блох и др., 2006; Диденко и др., 2021; Рашидов и др., 2012; Федорченко и др., 1989; Федотов и др., 1982 и др.). Последнее эффузивно-эксплозивное извержение длилось с 1 октября 2015 г. по 18 августа 2016 г. (Мельников и др., 2018;

<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/volc?name=Alaid>). Вершинная кальдера имеет размер по гребню 1300×900 м (Горшков, 1967; Федотов и др., 1982). По состоянию на начало сентября 2022 г. внутри кальдеры находился молодой шлаковый конус извержения 2015–2016 г. диаметром 140 м, а трио было целиком заполнено лавой (Мельников и др., 2018). В атрио и внутри конуса наблюдалась фумарольная деятельность. С южной стороны гребень кальдеры значительно ниже, а в юго-восточный склон вулкана врезана депрессия эрозионного происхождения, расширяющаяся книзу до 3.5 км, ограниченная по краям в верхней части крутыми бортами высотой до 50 м (Федотов и др., 1982). В 2016 г. вдоль стенки западной части депрессии спустился лавовый поток длиной ~400 м (Мельников и др., 2018).

Согласно оценке геологических опасностей (Карта..., 2005) (<http://vsegei.ru/ru/info/atlas/hazards/>) о. Атласова сложен вулканогенным морфолитодинамическим комплексом

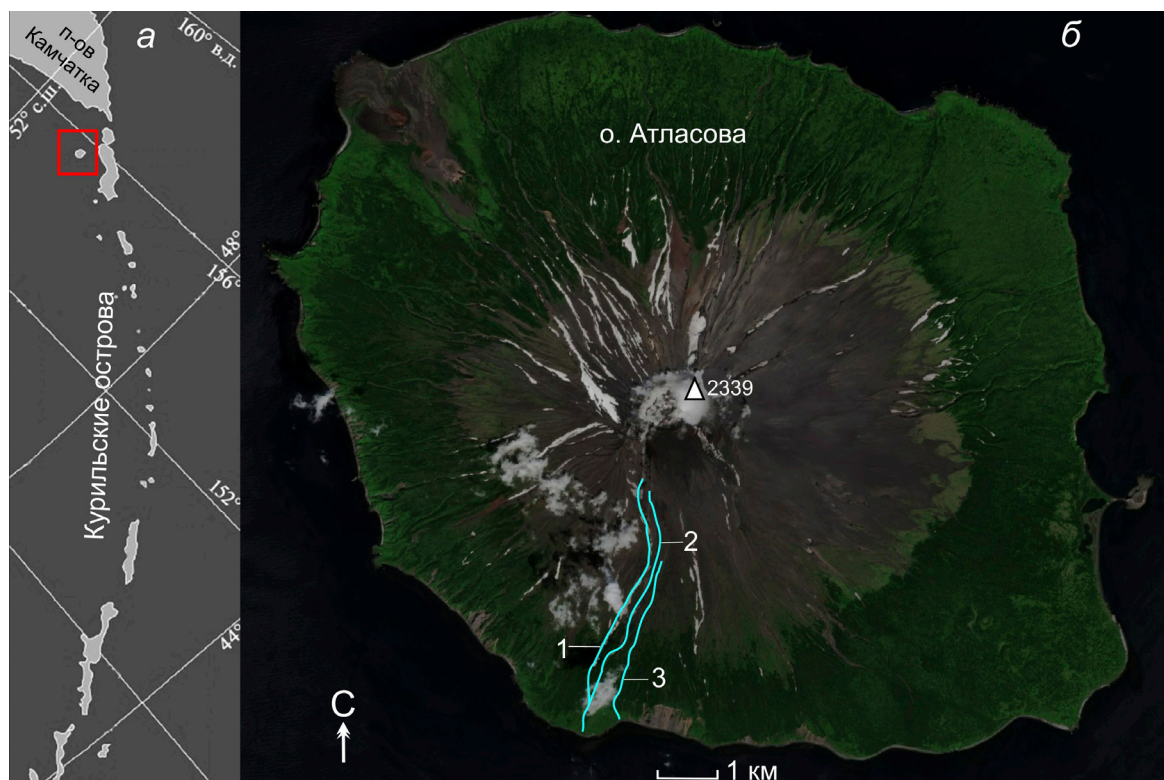


Рис. 1. Местоположение (а) и снимок спутника Sentinel-2 L2A за 08.08.2021 г. о. Атласова (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>) (б): 1–3 — номера ручьев, по которым сошли лахары.

Fig. 1. Location (a) and Sentinel-2 L2A satellite image of 08.08.2021 (b) of Atlasov Island (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>), 1–3 are the numbers of the streams along which lahars descended.

пород, сформировавшимся в условиях крутых склонов вулканического конуса, и характеризуется высокой степенью селевой опасности. Склоны вулкана покрыты шлаком и бомбами и лишены сплошного растительного покрова выше 300–1300 м, в зависимости от ориентации склона (Горшков, 1967; Гришин и др., 2009).

Службами мониторинга вулканической активности указываются разные даты начала нового извержения вулкана Алаид: 10 сентября (<https://kam.emsd.ru/news/179/>) и 15 сентября 2022 г. (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert>). В частности, первый зафиксированный пепловый шлейф в 6:20 UTC 10 сентября 2022 г., принятый за начало извержения, по мнению KVERT (Камчатской группы реагирования на вулканические извержения) не был связан с извержением вулкана, а был поднят с поверхности сильным ветром, то есть являлся шлейфом суспендированного пепла. Извержение вулкана Алаид, начавшееся в виде стромболианской активности шлакового конуса вершинного кратера (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert>; <https://kam.emsd.ru/news/179/>), перешло в эффузивно-эксплозивное с истечением лавы. 27 сентября лавовый поток перевалил через южную бровку кратера и стал спускаться вниз по западной части эрозионной долины (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert>). Над кратером и лавовым потоком появились тер-

мальные аномалии (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert>; https://www.mirovaweb.it/?action=volcanoDetails_MOD&volcano_id=290390). В темное время суток наблюдалось свечение над шлаковым конусом и по пути движения лавового потока (рис. 2).

В настоящем сообщении приводятся сведения о сходе лахаров по руслам трех безымянных ручьев (рис. 1, №№ 1–3) во время текущего извержения с южной стороны о. Атласова.

Лахары — селевые потоки на вулканах, термин был предложен Г.Л.Л. Кеммерлингом (1921) на основе индонезийского названия вулканогенных селей о. Ява. Начиная с Г.Л.Л. Кеммерлинга, лахары разделяют на «горячие» (син-эруптивные или первичные), непосредственно вызванные извержениями, и «холодные» (пост-эруптивные или вторичные), при которых впоследствии происходит вовлечение вулканических отложений в селевой поток (Lavigne et al., 2000; Vallance, 2005). По генезису водной составляющей син-эруптивные лахары подразделяются на гляциальные, нивальные и ливневые (Виноградов, 1980; Черноморец, Сейнова, 2010): гляциальные лахары образуются при экстремальном таянии и разрушении ледников, нивальные — при быстром таянии снежного покрова, ливневые — в случае сильных дождей в период извержения вулкана. Формирование лахара может быть

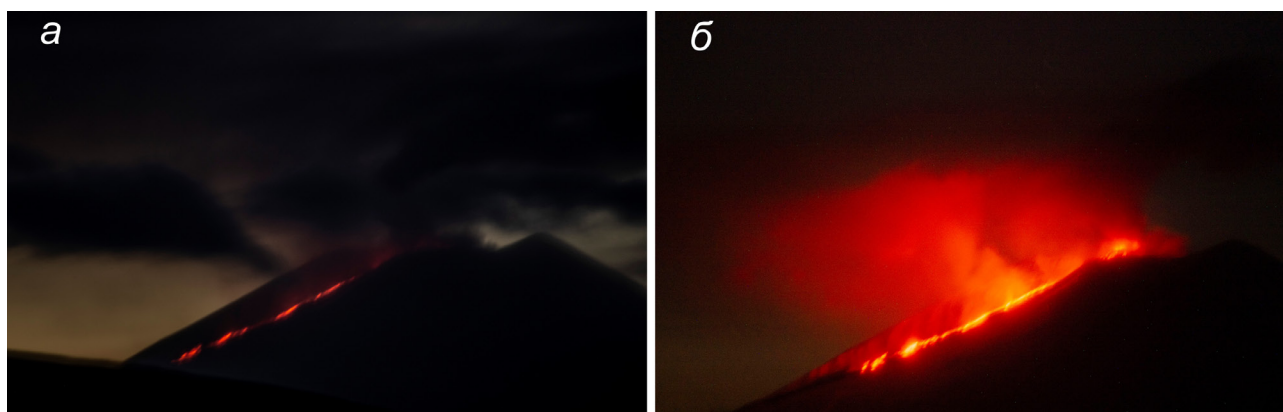


Рис. 2. Свечение на вулкане Алаид 22 октября в 7:31 UTC (а) и в 08:04 UTC (б) над кратером и над лавовым потоком, спускающимся по южному склону. Фото Т.А. Котенко.

Fig. 2. Glow above Alaid volcano on October 22 at 7:31 UTC (a) and at 08:04 UTC (b) above the crater and above the down the southern slope. Photo by T.A. Kotenko.

связано с любым типом извержения вулкана: эксплозивным, экструзивным, эффузивным.

При анализе снимков спутника Sentinel-2A за период с 15 сентября по 8 октября 2022 г. (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>) были обнаружены признаки прохождения лахаров на указанных выше ручьях в виде селевой трансформации русел и наличия селевых конусов выноса (рис. 3б). Информация была подтверждена фотосъемкой за 8 и 27 октября 2022 г. (рис. 3в, 3д), предоставленной жителями г. Северо-Курильск. Ручьи 1 и 2 сливаются в один водоток на расстоянии 320 м от берега моря и имеют единое устье. Ручей 3 удален на 0,6 км к востоку от их устья по береговой черте. Спутниковые снимки в комбинации спектральных каналов NDVI (Normalized Difference Vegetation Index — нормализованный дифференцированный вегетационный индекс) (рис. 3а, б) позволяют четко выделить границы растительности, поэтому являются удобным инструментом для идентификации русловой и склоновой эрозии. На рис. 3а показан прибрежный участок до схода лахаров. На спутниковом снимке за 2 октября (рис. 3б) — он же после схода лахаров: произошло увеличение площади, лишенной растительности в результате глубинной и боковой эрозии русел и склонов и скопления в устьях ручьев селевых отложений. Фотосъемка, выполненная с моря (рис. 3в, 3д), также демонстрирует четкие следы прохождения лахаров: глубинную эрозию в виде селевых врезов, боковую эрозию, веерообразные конусы выноса в устье. Лахары в зоне аккумуляции частично разгрузились в море, что видно по характерному уступу во фронтальной части в приливной зоне (результат размыва селевых масс). На фотоснимке 5 сентября 2021 г. (рис. 3е) в устье виден старый заросший травой селевой конус выноса, на склонах выше устья четко видны оплывины, лишенные сплошной

растительности, что свидетельствует о предыдущей селевой активности в бассейне ручьев 1 и 2. Время схода лахаров между 29 сентября и 2 октября, точную дату установить не удалось из-за отсутствия снимков без облачности.

Рассмотрим комплекс селеформирующих факторов:

(1) Гидрологический режим водотоков о. Атласова неизучен. Однако морфометрические параметры ручьев, дренирующих эрозионную депрессию, — почти прямолинейное русло и большая крутизна тальвегов, — являются селеобразующими факторами (Виноградов, 1980; Перов, 2012). К ним добавляется плохая сцементированность рыхлых отложений вулканического конуса. Длины ручьев 1 и 2 составляют 5,2 и 5,3 км соответственно, общая площадь водосбора 2,51 км², средний уклон 33,6%, максимальный 50,4%. Длина ручья 3 — 2,4 км, площадь водосбора 0,61 км², средний уклон 36,0%, максимальный 59,5% (измерение параметров выполнено в программе Google Earth Pro). Согласно классификации типологии водосборов с проявлением селевого процесса (Перов, 2003), водосборы ручьев с подобными морфометрическими характеристиками относятся к молодым, слабо разработанным долинам простого типа, для которых селевые отложения концентрируются преимущественно на конусе выноса, объемы выноса твердой составляющей могут варьировать от 5 до 500 тыс. м³.

(2) Верхняя часть водосборов ручьев приурочена к западной части эрозионной депрессии и контакту ее западной бровки с лавовым потоком 2016 г. На этом участке в начале осени еще сохраняются снежники-перелетки, возможно, малые ледники, контролировать размеры которых можно по спутниковым снимкам. Вопрос наличия малых ледников открыт: возможность их существования в верхних частях конуса вулкана

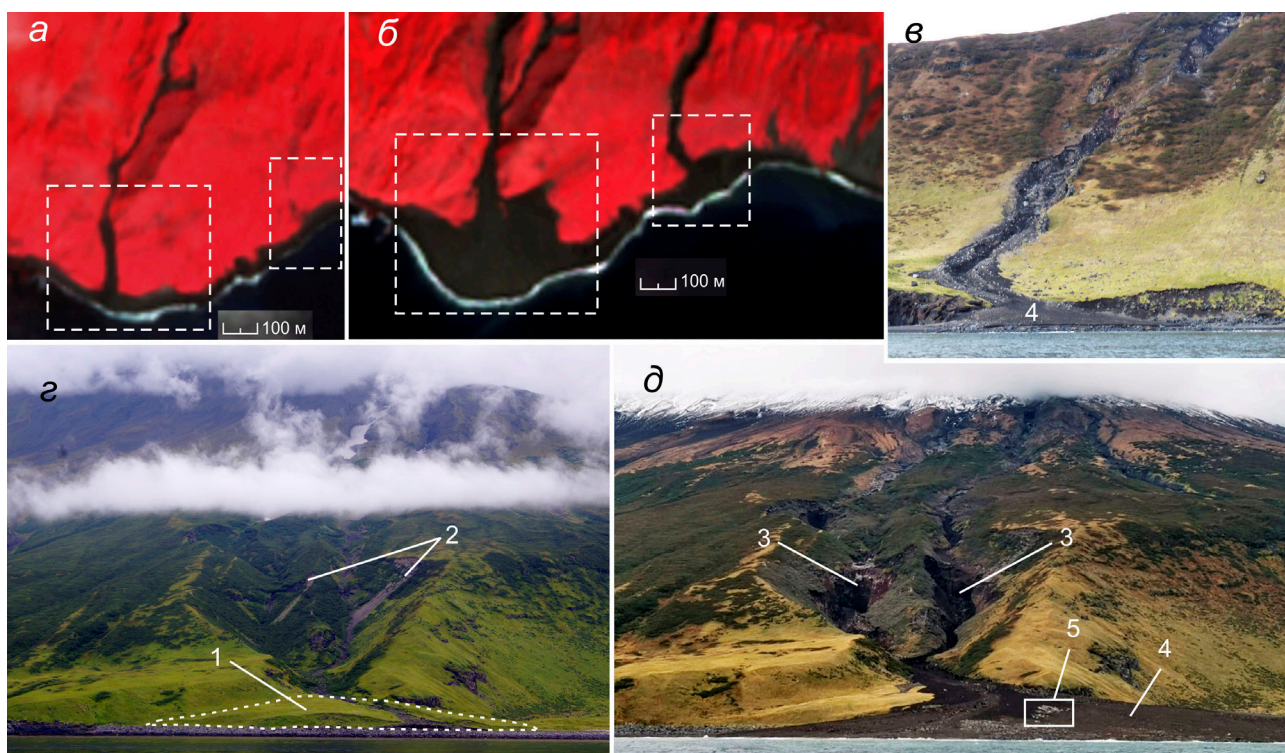


Рис. 3. Снимки спутника Sentinel-2 L2A: устья ручьев без селевых проявлений 27 сентября 23:59 UTC (а) и с селевыми конусами выноса 2 октября 0:34 UTC (б); устье ручья 3 (см. рис. 1б) (в) (фото С.П. Лакомова); нижняя часть русла и устье ручьев 1 и 2 до схода лахара (фото Л.В. Котенко) (д); этот же участок 8 октября (фото С.А. Немцева) (е): 1 — старый селевой конус выноса; 2 — оплывины; 3 — участки русловой и склоновой эрозии; 4 — селевой конус выноса; 5 — отложения снега на конусе выноса.

Fig. 3. Sentinel-2 L2A satellite images: stream mouths without mudflows on September 27, 23:59 UTC (a) and with mudflow fans on October 2, 0:34 UTC (b); the mouth of stream 3 (Fig. 1b) (c) (Photo by S.P. Lakomov); streams 1 and 2 lower parts and mouths before the lahar runoff (d) (Photo by L.V. Kotenko); the same section on October 8 (e) (Photo by S.A. Nemtsev): 1 — old mudflow fan; 2 — earthflows; 3 — sections of riverbed and slope erosion; 4 — mudflow fan; 5 — snow deposits on the fan.

и в кратере не вызывает сомнений, так как до вершинного извержения вулкана Алаид 1981 г. атрио было заполнено ледником (Федотов и др., 1982). Мы не располагаем данными о строении современных снежных или ледниковых полей. Для идентификации снежников (ледников?) были использованы снимки спутника Sentinel-2A в видимом диапазоне волн и в комбинации спектральных каналов NDSI (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>). NDSI (Normalized Difference Snow Index) — нормализованный дифференцированный снежный индекс. Перед началом извержения в пределах рассматриваемого участка фрагментарно сохранялись снежники (ледники) общей площадью около 0.03 км² (рис. 4а). То есть, во-первых, еще сохранялось снеговое (ледниковое?) питание ручьев наряду с метеорным питанием; во-вторых, имелось наличие запасов снега или льда, которые могут быстро растаять при извержении вулкана и привести к возникновению нивальных (гляциальных?) лахаров.

(3) На спутниковом снимке Sentinel-2 L2A за 23:52 UTC 27.09.2022 г. в видимом диапазоне (рис. 4б) постоянный снеговой покров с южной

стороны конуса отсутствует. В следующие четыре дня вулкан был закрыт облачностью. В результате выпадения осадков в виде снега (табл.) и снижения высоты нулевой изотермы (высота нулевой изотермы была выше 2000 м до 29 сентября в срок зондирования 00 UTC и опустилась в дальнейшем до 894–1540 м н.у.м (<https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>)) 2 октября в 23:52 UTC уже сформировался снежный покров с нижней границей на высоте около 900 м н.у.м. Эта граница сохранялась до 7 октября, поэтому для иллюстрации взят снимок за эту дату (рис. 4в).

Анализ метеорологических условий показал, что формирование селя ливневого генезиса на рассмотренном участке исключается, так как не было сильных осадков, к тому же они выпадали преимущественно в виде снега. Признаки схода лахаров установлены только для трех ручьев, вершины водосборов которых расположены на пути движения лавового потока.

Таким образом, по трем безымянным ручьям южного склона вулкана Алаид сошли лахары нивального, возможно нивально-гляциального генезиса, то есть в результате быстрого таяния

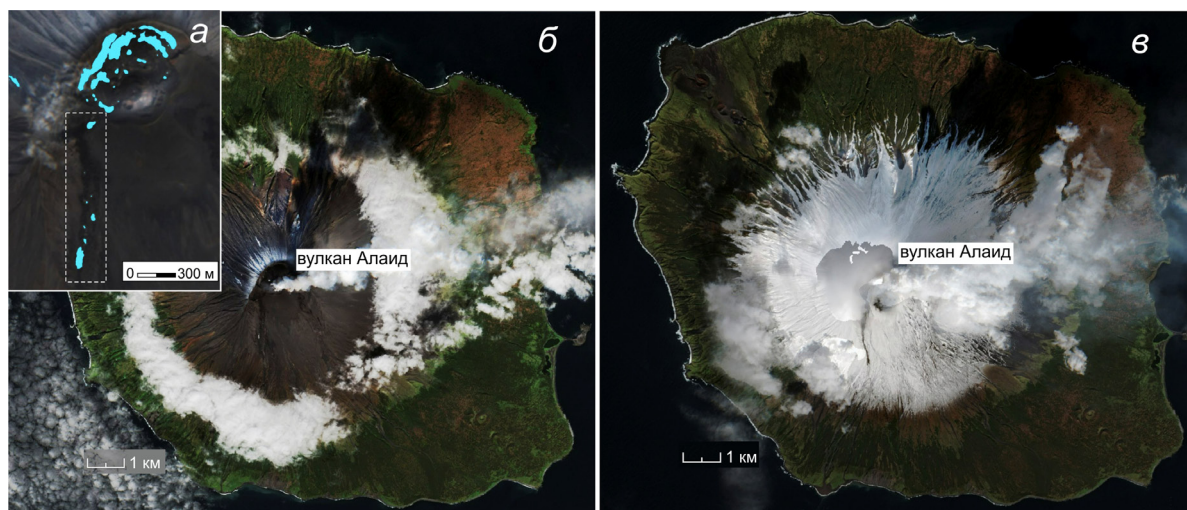


Рис. 4. Спутниковые снимки вулкана Алайд в 2022 г., спутники Sentinel-2 L2A и Landsat 8-9 L2: идентификация снежных (ледниковых?) полей (голубые пятна) 9 сентября, спектральный канал NDSI (а); на конусе с южной стороны еще не установился постоянный снеговой покров, 27 сентября 23:59 UTC (б); выше высоты 900 м установился постоянный снеговой покров, 7 октября 23:59 UTC (в).

Fig. 4. Satellite images of Alaid Volcano in 2022, Sentinel-2 L2A and Landsat 8-9 L2 satellites: identification of snow (glacial?) fields (blue patches) on September 9, NDSI spectral channel (a); no permanent snow cover yet on the cone southern side on September 27, 23:59 UTC (b); permanent snow cover above 900 m altitude, October 7, 23:59 UTC (c).

Высота нулевой изотермы и количество осадков за сутки

Height of the zero isotherm and amount of precipitation per day

Дата	Высота нулевой изотермы H_0 , м н.у.м.	Количество осадков за сутки Q , мм
27.09.2022	2100	3.0
28.09.2022	2006	4.0
29.09.2022	2900	2.0
30.09.2022	1100	0.6
1.10.2022	894	6.0

Примечание. Данные об осадках для высоты 23 м н.у.м., метеостанция 32215 Росгидромета, расположенная в 44 км к ВЮВ от о. Атласова.

Note. Precipitation data for a height of 23 m above sea level, 32215 weather station of Roshydromet is located 44 km to the east of the Atlasov island.

снега (возможно, льда) при продвижении лавового потока. Площадь общего селевого конуса выноса ручьев 1 и 2 составила 0.08 км^2 при максимальной ширине 490 м, длине 230 м. Площадь селевого конуса выноса ручья 3– 0.02 км^2 . Полевое обследование селевых бассейнов провести не удалось, поэтому сложно говорить об объемах твердой составляющей лахаров, тем более, что они разгрузились непосредственно в море.

В условиях продолжающегося эффузивно-эксплозивного извержения вулкана Алайд и установления постоянного снегового покрова на о. Атласова, по нашему мнению, будет сохраняться высокая селевая опасность.

Список литературы [References]

- Абдурахманов А.И., Пискунов Б.Н., Смирнов И.Г., Федорченко В.И. Вулкан Алайд (Курильские острова) // Восточно-Азиатские островные системы (Тектоника и вулканизм). Южно-Сахалинск. 1978. С. 85–107 [Abdurakhmanov A.I., Piskunov B.N., Smirnov I.G., Fedorchenko V.I. Volcano Alaid (Kuril Islands) // East Asian island systems (Tectonics and volcanism). Yuzhno-Sakhalinsk. 1978. P. 85–107 (in Russian)].
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Рашидов В.А., Трусков А.А. Подводный вулкан Григорьева (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 2006. № 5. С. 17–26 [Blokh Yu.I., Bondarenko V.I., Rashidov V.A., Trusov A.A. The Grigoriev Submarine Volcano: The Kuril Island Arc // Vulkanology and Seismology. 2006. № 5. P. 17–26 (in Russian)].
- Виноградов Ю.Б. Этюды о селевых потоках. Ленинград: Гидрометеиздат, 1980. 144 с. [Vinogradov Yu.B. Etudes about mudflows. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1980. 144 p. (in Russian)].
- Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 288 с. [Gorshkov G.S. Volcanism and the Upper Mantle: Investigations in the Kurile Island Arc (Monographs in Geoscience). Plenum Press-New York-London 1970. 385 p.].
- Гришин С.Ю., Баркалов В.Ю., Верхолат В.П. и др. Растительный и почвенный покров острова Атласова (Курильские острова) // Комаровские чтения. 2009. Вып. LVI. С. 64–119 [Grishin S.Yu., Barkalov V.Yu., Verkholat V.P. et al. Vegetation cover and soils of Atlasov Island (the Kuril Islands) // Komarov readings. 2009. V. LVI. P. 64–119 (in Russian)].
- Диденко А.Н., Рашидов В.А., Марков Г.П. и др. Петрохимическая и геохимическая характеристики вулканитов извержения 2015–2016 гг. вулкана Алайд, Курильская островная дуга // Вулкано-

- логия и сейсмология. 2021. № 1. С. 3–21. <https://doi.org/10.31857/S0203030621010028> [Didenko A.N., Rashidov V.A., Markov G.P. et al. Petro-magnetic and Geochemical Descriptions of Volcanics Discharged by Alaid Volcano, Kuril Islands, in 2015–2016 // Journal of Volcanology and Seismology, 2021. V. 15. № 1. P. 1–18. <https://doi.org/10.1134/S0742046321010097> .
- Карта геологических опасностей России. Масштаб 1:5000000. МПР РФ, Роснедра, ВСЕГЕИ. 2005. Электронное издание [Map of geological hazards of Russia. Scale 1:5,000,000. MPR RF, Rosnedra, VSEGEI. 2005]
- Мельников Д.В., Маневич А.Г., Гирина О.А. Динамика извержения вулкана Алаид в 2012 и 2015–2016 гг. по данным методов дистанционного зондирования // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXI региональной научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 28–29 марта 2018, г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2018. С. 68–71 [Melnikov D.V., Manevich A.G., Girina O.A. Dynamics of the Alaid volcano eruption in 2012 and 2015–2016 according to remote sensing methods // Materials of the XXI regional scientific conference «Volcanism and related processes», dedicated to the day of the volcanologist, March 28–29, 2018 Petropavlovsk-Kamchatsky: IViS FEB RAS, 2018. P. 68–71 (in Russian)].
- Перов В.Ф. Селеведение. Учебное пособие. М., Географический факультет МГУ. 2012 г. 272 с. [Perov V.F. Selevedenie. Textbook. M., Faculty of Geography, Moscow State University. 2012. 272 p. (in Russian)].
- Перов В.Ф. Типология горных водосборов с проявлением селевого процесса // Труды Всероссийской конференции по селям. Нальчик, 2003. С. 99–106 [Perov V.F. Typology of mountain catchments with the manifestation of the mudflow process // Proceedings of the All-Russian Conference on mudflow. Nalchik, 2003. P. 99–106 (in Russian)].
- Рашидов В.А., Малик Н.А., Фирстов П.П. и др. Активизация вулкана Алаид (Курильские острова) в 2012 году // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2012. Вып. 20. № 2. С. 9–15 [Rashidov V.A., Malik N.A., Firstov P.P. et al. Activation of the Alaid volcano (Kuril Islands) in 2012 // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2012. № 2(20). P. 9–15 (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. M.: Nauka, 1989. 237 p. (in Russian)].
- Федотов С.А., Иванов Б.Ф., Флеров Г.Б. и др. Изучение извержения вулкана Алаид (Курильские острова) в 1981 г. // Вулканология и сейсмология. 1982. № 5. С. 9–27 [Fedotov S.A., Ivanov B.F., Fleurov G.B. et al. Study of the eruption of the volcano Alaid (Kuril Islands) in 1981 // Vulkanology and Seismology. 1982. № 5. P. 9–27 (in Russian)].
- Черноморец С.С., Сейнова И.Б. Селевые потоки на вулканах. М.: УНЦ ДО, 2010. 72 с. [Chernomorets S.S., Seinova I.B. Mudflows on volcanoes. Moscow: UNC DO, 2010. 72 p. (in Russian)].
- Kemmerling G.L.L. De uitbarsting van den G. Keloet in den nacht van den 19den op den 20sten mei 1919. Weltevreden, Landsdrukkerij, 1921. 121 s.
- Lavigne F., Thouret J.C., Voight B. et al. Lahars at Merapi volcano, Central Java: an overview // J. Volcanol. and Geotherm. Res. 2000. V. 100. P. 423–456.
- Vallance J.W. Volcanic debris flows // Jacob M. and Hungr O. (eds), Debris-flow hazard and related phenomena. Praxis. Springer Berlin Heidelberg, 2005. P. 247–274. <https://doi.org/10.1007/3-540-27129-5.10>

LAHARS ON ATLASOV ISLAND IN SEPTEMBER-OCTOBER 2022 (KURIL ISLANDS)

T.A. Kotenko

*Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch Russian Academy of Sciences,
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 683006; e-mail: sinarka2017@mail.ru*

Received October 31, 2022; revised December 05, 2022; accepted December 26, 2022

The article provides information about nival-volcanogenic, possibly glacial-volcanogenic, mudflows (lahars) on three streams on the south side of Atlasov Island (Kuril Islands, Russia). The island is an active stratovolcano Alaid, 2339 m asl high. The effusive-explosive eruption of the Alaid volcano began on September 10, 2022 and continues to the present day. Strombolian activity of the apical cone and lava outflow is observed. Lava filled the summit caldera by September 27. The lava flow then crossed the southern part of the caldera crest and began to descend down the erosional depression at the tops of the catchments of three unnamed streams. Photography and satellite images showed the presence of mudflow transformation of stream beds and slopes, and mudflows fan at the mouths of the streams. Analysis of meteorological and volcanological data showed that the formation of lahars was caused by rapid melting of snow/ice under the influence of lava flow and it occurred between September 29 and October 2.

Keywords: Kuril Islands, Atlasov Island, Alaid volcano, lahar.