



## Особенности селеформирования в вулканических регионах

Е.В. Лебедева

*Институт географии РАН, Москва, Россия, Ekaterina.Lebedeva@gmail.com*

**Аннотация.** Вулканические сели – лахары, образование которых связано со смещением по склонам и долинам чехла пирокластического материала под воздействием талых вод и/или атмосферных осадков как во время, так и после эруптивных извержений, – достаточно хорошо изучены. Однако детальный анализ вулканически активных регионов показывает, что сели могут формироваться там и под действием иных разнообразных факторов. Здесь часто наблюдается образование подпрудных водоемов в результате перегораживания долин вулканическим (пирокластические и лавовые потоки) и резургентным (обломочные лавины, взрывные отложения) материалом и последующее разрушение плотин в результате эрозии, сопровождающееся катастрофическим спуском озер. Кроме того, извержения в пределах или в непосредственной близости от крупных масс воды в твердом или жидком состоянии приводят к катастрофическому таянию ледников, выплеску озер или формированию в них цунами, что также неизбежно сопровождается сходом селей. Особое место занимают вулкано-тектонические события (кальдерообразование, формирование протяженных трещин, рост экструзий), приводящие к достаточно быстрым изменениям топографии местности, что, в свою очередь, вызывает возникновение новых водоемов, смещение водных масс, активизацию эрозии с высокой вероятностью последующего селеформирования. Сопровождающие извержение сейсмические толчки, хотя и являются относительно слабыми, но могут вызывать разрушение стенок кратерных озер, провоцировать формирование оползней и обвалов, в том числе, с временным перегораживанием речных долин, тем самым также создавая предпосылки возникновения селей. Наиболее активно эти процессы происходят в зонах гидротермальной деятельности, где под воздействием агрессивных термальных вод происходит выветривание коренных пород до податливых глин. Рассмотрены конкретные примеры селевых событий, обусловленные разноплановой вулканической деятельностью, сопутствующими сейсмическими толчками и гидротермальной активностью.

**Ключевые слова:** *вулканический сели, извержение, пирокластический материал, подпрудное озеро, вулкано-тектонические процессы, гидротермальное изменение пород, временная плотина*

**Ссылка для цитирования:** Лебедева Е.В. Особенности селеформирования в вулканических регионах. В сб.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 6-й Международной конференции (Душанбе–Хорог, Таджикистан). Том 1. – Отв. ред. С.С. Черноморец, К.С. Висхаджиева. – Душанбе: ООО «Промоушн», 2020, с. 460–469.

## Features of debris flow formation in volcanic regions

E.V. Lebedeva

*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,  
Ekaterina.Lebedeva@gmail.com*

**Abstract.** Volcanic debris flows - lahars, the formation of which is associated with the displacement of pyroclastic material along the slopes and valleys by melt water and / or precipitation both during and after eruptions - are well studied. However, a detailed analysis of volcanically active regions shows that debris flows can form there under the influence of various other factors. In particular, the formation of dammed water bodies as a result of blocking the valleys with volcanic (pyroclastic and lava flows) and resurgent

material (debris avalanches, explosive deposits) and the subsequent destruction of dams as a result of erosion, accompanied by a catastrophic descent of lakes, are observed there. Eruptions within or in close proximity to large masses of water in a solid or liquid state lead to catastrophic melting of glaciers, splashing of lakes or the formation of tsunamis in them, which is also inevitably accompanied by debris flows. Volcanic-tectonic events (caldera or fault formation, extrusion growth) occupy a special place. They are leading to fairly rapid changes in the topography of the area, which, in turn, causes the occurrence of new water bodies, the displacement of water masses, and the intensification of erosion with a high probability of subsequent debris flow formation. Seismic shocks accompanying the eruption, although they are rather weak, can cause the destruction of the walls of crater lakes, provoke the formation of rockfalls and landslides, with temporary blocking of river valleys, thereby also creating the prerequisites for debris flows. Most actively, these processes occur in hydrothermal zones, where, under the influence of aggressive thermal waters, bedrock weathering occurs to the state of malleable clays. Concrete examples of debris flow events caused by diverse volcanic activity, accompanying seismic shocks and hydrothermal activity are considered.

**Key words:** *volcanic debris flow, eruption, pyroclastic material, dammed lake, volcanic-tectonic processes, hydrothermal change of rocks, temporary dam*

**Cite this article:** Lebedeva E.V. Features of debris flow formation in volcanic regions. In: Chernomorets S.S., Viskhadzhieva K.S. (eds.) Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 6th International Conference (Dushanbe–Khorog, Tajikistan). Volume 1. Dushanbe: “Promotion” LLC, 2020, p. 460–469.

## Введение

Лахары, или вулканические сели, формируются в результате перемещения водой рыхлого вулканического материала. Вулканические регионы часто страдают от горячих лахаров, возникающих при таянии ледников или снега непосредственно в момент извержения или сразу после него. Одним из самых масштабных событий такого плана был лахар при извержении влк. Руис (Колумбия) в 1985 г., унесший жизни почти 23 тыс. человек [Whitham, 2005]. Наряду с горячими лахарами выделяют и холодные, или вторичные, которые по времени тесно не связаны с эксплозиями, а формируются спустя месяцы или годы при наличии благоприятных условий – крутых склонов и мощного чехла рыхлого пирокластического материала на них – при/ после выпадения ливневых осадков и снеготаяния. Оба вида лахаров достаточно детально описаны в литературе, в частности [Черноморец, Сейнова, 2010]. Также как и в невулканических селях, концентрация твердой составляющей в лахарах колеблется от 40 до 80%, объемный вес – от 1300 до 2400 кг/м<sup>3</sup>. Их скорость может достигать 30 м/с с пиковыми расходами до 48 000 м<sup>3</sup>/с, а объем – до 100 млн м<sup>3</sup>; они могут смещаться по речным долинам на расстояние в сотни км от места формирования [Thouret et al., 2020].

Однако детальное изучение литературных материалов и полевые наблюдения в различных вулканических регионах мира показывают, что причины формирования селей на таких территориях гораздо разнообразней, да и сам спектр провоцирующих их факторов - весьма широк. Результаты анализа конкретных примеров селевых событий, обусловленных разноплановой эндогенной деятельностью, сопутствующими сейсмическими толчками и гидротермальной активностью обобщены нами в виде таблицы 1.

## Причины и факторы селеформирования в вулканически активных регионах

Самыми главными провокаторами селеобразования, бесспорно, являются эксплозивные извержения, каждое из которых сопровождается выбросом рыхлого материала, причем при крупных эксплозиях его объемы могут составлять от 50 до 300 км<sup>3</sup>. В целом доминируют небольшие извержения, но при них также выбрасываются

кубические километры пирокластики, и в результате мощность покрова рыхлого материала в непосредственной близости от центра извержения и в направлении доминировавших в этот момент ветров может составить первые метры. Например, влк. Безымянный (Камчатка) в конце 1950-х гг. выбросил до 3 км<sup>3</sup> тефры, покрывшей слоем до 40 м более 70 км<sup>2</sup> и до 40 см почти 500 км<sup>2</sup> [Виноградов, 1967; Мелекесцев, 1967].

Таблица 1. Особенности селеформирования в вулканических регионах

Table 1. Features of debris flow formation in volcanic regions

Характер селевого события	Конкретный пример	Дополнительные условия	Характер эндогенного фактора
<b>Классические лахары</b>			
Горячий лахар в результате таяния ледников, снежного покрова или выпадения обильных осадков при /после извержения	а) влк. Руис (1985), Колумбия б) влк. Безымянный (1956), Камчатка в) влк. Чайтен (2009), Чили	Наличие ледников (а), снежного покрова (б) или выпадение обильных осадков (в)	Извержение эффузивное или эксплозивное
Холодный (вторичный) лахар – при выпадении обильных осадков и снеготаянии в постэруптивный этап	Конус Штюбеля (1907), Камчатка	Накопление пирокластического чехла мощностью более 1м, его смещение со склонов и заполнение долин	Постэруптивный этап
<b>Сели в результате спуска подпрудных вулканических озер при прорыве плотин различного генезиса и состава</b>			
Из пирокластического материала	Влк. Шивелуч (2010), Камчатка	Сход пирокластического потока	Извержение эксплозивное, постэруптивный этап
Из крупнообломочного материала	р. Теплая – конус Штюбеля (1907), Камчатка влк. Безымянный (1956), Шивелуч (1964), Камчатка Сент-Хеленс (1980), США	Обрушение привершинной части или одностороннее разрушение конуса (направленный взрыв, обломочная лавина)	
<b>Лавовые плотины</b> а) при выполнении долин лавой	р. Мал. Енисей (Южно-Байкальская вулк. область), р. Квита, Исландия	Движение лавового потока по долине	Извержение эффузивное, постэруптивный этап
	б) при перегораживании долин лавой	р. Колорадо (Мендоса, Аргентина) р. Джиды (Забайкалье)	

Характер селевого события	Конкретный пример	Дополнительные условия	Характер эндогенного фактора
<b>Сели в результате иных событий при наличии значительных объемов воды в жидкой или твердой фазе</b>			
Прорыв подледного озера – сход йокульлаупа (вулканогенного ледникового паводка)	влк. Гримсвётн (1996), Катла (1918) Исландия	Наличие полупокровного или покровного оледенения Формирование подледного озера, проседание поверхности льда	Извержение в непосредственной близости или под значительными объемами воды в жидкой или твердой фазе
Выплеск озера при извержении	оз. Штюбеля – р. Теплая (1907), Камчатка	Наличие озера рядом с центром извержения	
Разрушение стенки кратерного озера	влк. Агуа, Гватемала (1541)	Трещиноватые породы	Сейсмическое событие
Перелив озера, возникшего в результате деформации поверхности при росте вулканического купола	руч. Лагерный в кальдере Ксудач, Камчатка	Рост вулканического купола в бассейне реки, формирование просядок и трещин	Вулкано-тектоническая деятельность
<b>Сели в результате иных событий</b>			
Формирование кальдеры обрушения с заполнением долин пирокластическим материалом, усиление врезания и размыв пирокластики	Водотоки кальдеры Ксудач, Камчатка	Усиление эрозии в посткальдерный этап	Вулкано-тектоническая деятельность
Активное развитие оползневых процессов в зонах гидротермальной проработки пород с перегораживанием долин	Долина р. Гейзерной (2007, 2014), Камчатка	Наличие выветрелых до глини и увлажненных пород	Гидротермальная проработка пород

В результате вулканических выбросов на склонах формируется чехол тефры, который при мощности более 30–40 см вызывает усыхание или гибель растительности, что приводит к изменению характера эрозионных и склоновых процессов [Лебедева, 2017 а, б]. Выпавший при извержении пирокластический материал характеризуется высокой пористостью и легкостью, поэтому он может активно переноситься как ветром, так и водой и постепенно концентрируется в понижениях рельефа, в том числе, в днищах долин. Обильные осадки или снеготаяние вызывают сходы селей (твердая составляющая более 60%) или гиперконцентрированных потоков (твердая составляющая 20–60%). Иногда протяженность вулканических селей может достигать 185 (влк. Келуд, Индонезия, 1919 г.) и даже 300 км (влк. Котопаху, Эквадор, 1877 г.) [Thouret, 2010].

Следы лахаров зафиксированы на склонах большинства действующих вулканов мира, для которых характерны эксплозии, причем они сходят там с завидной регулярностью. Так, на влк. Котопаху (Анды) исследователями [Tilling, 2009; Лебедева и др., 2014, 2015] описано 22 таких крупных события, на Ключевском – 20, на влк. Шивелуч (Камчатка) – 11 [Черноморец, Сейнова, 2010]. Только во время извержения небольшого вулкана Чайтен (Чили) в 2008–2009 гг. сошли 3 лахара, от одного из которых в мае 2009 г. пострадал и одноименный город (рис. 1). Наблюдения показали, что опасность схода холодных (вторичных) лахаров сохраняется в течение десятилетий после извержения [Thouret, 2010].



Рис. 1. Пос. Чайтен (Чили), разрушенный в результате схода лахара 2009 г. (здесь и далее фото автора, 2010 г.)

Fig. 1. Chaiten village (Chile), destroyed by the 2009 lahar descent (Here and below the author's photo, 2010)

Эксплозии иногда сопровождаются взрывом привершинной части вулкана, при разбросе крупных глыб на первые сотни метров [Thouret, 2010] возможно перегораживание прилежащих долин, в результате чего может образоваться подпрудное озеро или повысится уровень существовавшего там ранее водоема. При последующем разрушении такой плотины практически неизбежно формирование селя (рис. 2).



Рис. 2. Фрагмент разрушенной плотины в истоке р. Теплой (стрелка), вызвавшей поднятие уровня озер в кальдере Ксудач на 15 м после извержения 1907 г. Пунктиром показана уничтоженная в результате взрыва при извержении вершина конуса Штюбеля (Камчатка, 2016 г.)

Fig. 2. A fragment of a destroyed dam at the source of the river Teplaya (arrow), which caused a rise in the level of Ksudach caldera's lakes by 15 m after the eruption of 1907. The dotted line shows the top of the Shtübel cone destroyed by the explosion (Kamchatka, 2016)

Вообще при вулканической деятельности достаточно часто формируются различного рода плотины, препятствующие стоку и вызывающие образование подпрудных водоемов. Так, при одностороннем разрушении вулканического конуса – при направленном взрыве - нередко формируются обломочные лавины, что приводит к отложению обломочного материала различной крупности на той части склона, куда был ориентирован взрыв, на расстоянии до 29-30 км [Пономарева, 2010] и даже до 85 км от места обрушения конуса [Thouret, 2010]. Этот резургентный материал также может создавать упомянутые плотины. Например, на Аляске обломочная лавина привела к формированию не одной, а серии плотин и созданию ряда подпрудных водоемов в долине р. Чакачатна [Waythomas, 2001].

При эксплозивных извержениях наиболее тяжелая часть эруптивной колонны может формировать пирокластические потоки (ПП), которые представляют собой смесь раскаленных глыб, пепла и вулканических газов. Со скоростью иногда более 100 м/сек [Thouret, 2010] они спускаются от жерла по склону вулкана. В результате происходит выполнение близлежащих долин пирокластическим материалом, а при последующем врезании водотоков в рыхлую толщу пирокластике и ее размыве – сход селей. Площади участков, подвергшихся воздействию ПП, могут составлять десятки и сотни квадратных километров: при извержении Шивелуча 1964 г. они достигли 45.5 км<sup>2</sup> [Belousov et al., 1999]. В последующие годы потоки неоднократно сходили по долинам рек южного склона вулкана и их протяженность составляла от 8 до 28 км [Мелекесцев и др., 1991]; известно, однако, что длина их может достигать и 100 км [Witham, 2005]. После извержения влк. Сент-Хеленс (США) в 1980 г. потоки сходили по склонам вулкана крутизной 10–30°, так и по пологой пемзовой равнине подножия (~ 5°), их протяженность достигала 8 км, а суммарная мощность – 12 м [Brand et al., 2016]. На влк. Шивелуч мощность отложений ПП колеблется от 2-5 м на склонах и до 40-50 м в долинах [Мелекесцев и др., 1991; Belousov et al., 1999].

Попадая в долину, пирокластический поток заполняет ее днище, а его отложения могут перегораживать устья притоков реки с формированием в них подпрудных озер. Подобные явления наблюдаются, например, в водотоках южного склона влк. Шивелуч (Камчатка) [Лебедева, 2016 б]. Эти водоемы существуют недолго – первые годы, т.к. плотина, сложенная рыхлым материалом, довольно быстро разрушается; при спуске также формируются сели. Озера, подпруженные спекшейся пирокластикой – игнимбритами – более долговечны и масштабны, их глубины могут достигать 100 м [Kataoka, 2008].

И.Б. Сейнова с соавторами [2014] рассматривают пирокластические потоки как триггерный механизм зарождения лахаров, так как за период вулканической активности Шивелуча в 1964–2013 гг. формированию лахаров всегда предшествовало извержение пирокластических потоков. При извержении влк. Пик Сарычева на о. Матуа (Курилы) в 2009 г. сформировавшиеся 8 ПП впоследствии дали начало 7 лахарам различной протяженности [Рыбин и др., 2012]. Лахары регулярно образуются и после извержений влк. Мерапи (Индонезия), которые также сопровождаются формированием ПП. Из 18 долин наиболее крупных водотоков, берущих начало на вулкане, 10 многократно подвергались сходо лахаров [The Atlas..., 2015].

Эффузивное извержение может приводить к заполнению долины реки лавовым потоком, причем иногда на десятки и первые сотни километров. При этом происходит как подпруживание основной реки, так и ее притоков. В результате вытеснения реки из долины и частичного затопления боковых долин опять-таки происходит формирование подпрудных озер, глубина которых может достигать десятков метров – в зависимости от величины исходного расчленения рельефа и мощности лавы. Например, в приустьевых частях притоков р. Мал.Енисей после ее заполнения лавой существовали озера глубиной до 50–70 м [Ярмолюк, 2004]. Подобные озера, существующие в настоящее время в бассейне р. Жом-Болок, и, соответственно, образовавшие их притоки сейчас имеют подлавовый сток [Сковитина, 2002; Щетников, 2002]. При отсутствии такого стока события могут развиваться по нескольким сценариям. Например, сформировавшееся

подпрудное озеро через сниженный участок водораздела переливается в соседнюю долину или даже речной бассейн. Следы подобного явления описаны на базальтовых плато Сихотэ-Алиня [Короткий, 2010]. Со временем может произойти и полное или частичное эрозионное разрушение (пропиливание) лавовой плотины: свидетельства подобных событий сохранились в бассейне рр. Джиды (Забайкалье) [Базаров, Антощенко-Оленев, 1974], Малого Енисея [Ярмолюк и др., 2004], Квиты (Исландия), Оки (Восточный Саян) и др. [Лебедева, 2016а]. В любом случае, интенсивное протекание процесса эрозии (врезания) через какое-то время вызывает сход селя (или селей).

Но извержения не только приводят к образованию новых водоемов: они сами могут происходить в непосредственной близости от уже существующих значительных объемов воды в твердом или жидком виде. Если извержение происходит в озере (например, в кальдере или в подпрудном водоеме в долине) или в непосредственной близости от него, неважно, является ли это событие надводным или подводным, в любом случае оно, как правило, сопровождается выплеском озера, что приводит к сходу селя со склонов или по долине, которая вытекает из данного водоема. При наблюдении за извержением Карымского вулкана в январе 1996 г., сопровождавшегося подводным извержением в северной части расположенного рядом Карымского озера, фиксировались формирование в водоеме многочисленных цунами высотой до 29 м и неоднократный сход лахаров по вытекающей из озера р. Карымской [Муравьев и др., 1997].

В случае покровного оледенения, когда извержение идет под мощным слоем льда, формируются гигантские по масштабам потоки талых ледниковых вод – йокульлаупы. В настоящее время они наблюдаются в Исландии, хотя в периоды четвертичных похолоданий, очевидно, имели место и на Камчатке, и в Восточно-Тувинском лавовом нагорье, и в других вулканических регионах умеренных широт [Мелекесцев, 1976]. При подледном извержении происходит просадка протаявшего льда, формирование подледного водоема с последующим его прорывом и выносом громадных объемов ледяного и обломочного материала на значительные расстояния. Большое количество вовлеченной в процесс воды приводит к гигантским масштабам данного явления: так, извержение влк. Катла (Исландия) под ледником Мирдальсйёкюдль в 1918 г. привело к возникновению йокульлаупа объемом до 8 км<sup>3</sup> и затоплению территории в 600–800 км<sup>2</sup> [Заботкин, 1951; Galeczka et al., 2015; Gudmundsson, 2013].

Многие извержения сопровождаются вулкано-тектоническими явлениями, которые приводят к изменению топографии местности, к деформации продольных профилей долин, плановым смещениям речной сети. Такие примеры описаны нами ранее в кальдерном комплексе Ксудач: это и переформирования приустьевых частей долин при образовании кальдеры обрушения 1725 л.н., и перестройки водотоков в результате роста конуса Штубеля [Лебедева, 2017а, б]. Перестройки речной сети часто сопровождаются прорывами или переливами сформировавшихся подпрудных озер и, соответственно, сходами селей.

В результате слабых сейсмических событий, сопровождающих извержения, может происходить разрушение стенок кратерных озер по зонам трещиноватости, что также провоцирует сход селей. Кроме того, совокупность таких факторов, как наличие толщ трещиноватых, слабосвязанных или гидротермально измененных слабостойких пород, сейсмические толчки и/или выпадение обильных осадков, способствует развитию катастрофических процессов в вулканических регионах и после завершения активной стадии извержений.

Особый интерес представляют собой зоны развития гидротермальных процессов. На таких участках породы интенсивно гидротермально проработаны и нередко в результате химического выветривания превращены в глины, а также значительно обводнены. Они могут легко смещаться, формируя масштабные оползни или оползнисплывы даже при слабых сейсмических событиях (рис. 3). Перегораживание долин смещенными массами приводит к подпруживанию рек и сходу селей, как это неоднократно наблюдалось за последние десятилетия, например, в долине р. Гейзерной (Камчатка) [Кугаенко и др., 2007; Пинегина и др., 2008; Лебедева и др., 2020]. Судя по

морфологии долины этой реки, подобные явления случались там неоднократно и ранее. Следы оползневых цирков хорошо видны на бортах и других рек зон развития гидротермальных процессов, например, на склонах влк. Мутновский, Баранского, Менделеева и др.

### Заключение

Таким образом, в вулканических регионах наблюдается широкий спектр процессов, приводящих к формированию селей. Наряду с лахарами, возникающими при выпадении осадков и таянии снега/льда как во время, так и после эруптивных извержений, наблюдаются сели в результате катастрофического спуска подпружных озер, возникших при перегораживании долин вулканическим (пирокластические и лавовые потоки) и резургентным (обломочные лавины, взрывные отложения) материалом. Неизбежно сопровождаются сходами селей и извержения в пределах или в непосредственной близости от крупных масс воды в твердом или жидком состоянии, т.к. они приводят к таянию ледников, выплеску озер или формированию в них цунами. Особое место занимают вулкано-тектонические события (кальдерообразование, формирование трещин, рост экстрезий), приводящие к достаточно быстрым изменениям топографии местности, что, в свою очередь, вызывает перемещение водных масс, возникновение новых водоемов, активизацию эрозии с высокой вероятностью дальнейшего селеформирования.

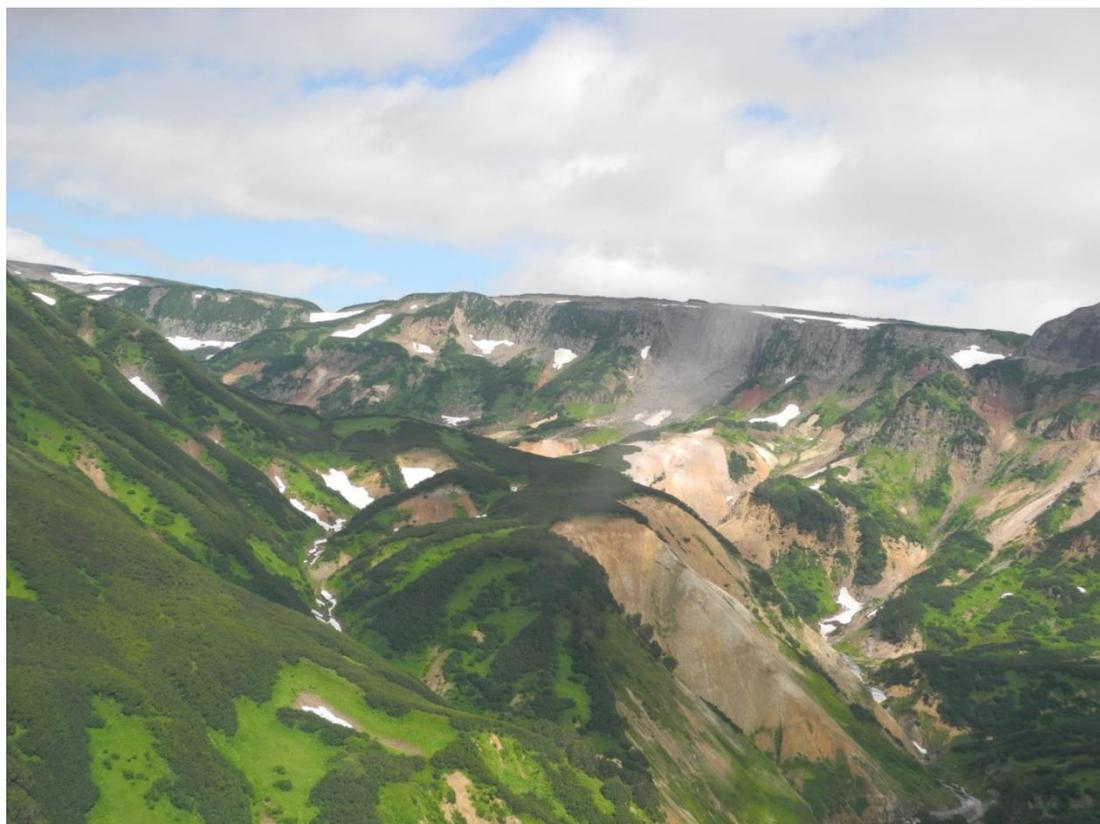


Рис. 3. Оползневые тела на бортах долины р. Гейзерной (Камчатка), периодически перегораживавшие реку с последующим сходом селей (2013 г.).

Fig. 3. Landslides on the sides of the valley of the Geysernaya River (Kamchatka), periodically blocking the river with subsequent debris flows (2013)

Сопровождающие извержение сейсмические толчки, хотя и являются достаточно слабыми, но могут вызывать разрушение стенок кратерных озер, провоцировать

формирование оползней и обвалов, в том числе, с временным перегораживанием речных долин и формированием тех же подпрудных водоемов. Наиболее активно оползни происходят в зонах гидротермальной деятельности, где под воздействием агрессивных термальных вод происходит выветривание коренных пород до податливых глин.

### Благодарности

Сбор данных осуществлен при поддержке РФФИ (проект № 18-05-00967), анализ материала выполнен в рамках Госзадания ИГ РАН № 0148-2019-000.

### Acknowledgments

The data were collected with support of the RFBR (project No. 18-05-00967), the analysis of results was done in the frame of the topic of the State Administration of the IG RAS № 0148-2019-000.

### Список литературы

- Базаров Д.Б., Антощенко-Оленев И.В. Селенгинское среднегорье и Джидинский горный район / Нагорья Прибайкалья и Забайкалья. М.: Наука, 1974. С. 163-209.
- Виноградов В.Н. О влиянии вулканизма на снежный покров и ледники // Вопр. географии Камчатки. 1967. Вып.5. С. 88-94.
- Заботкин П.П. Субгляциальные извержения // Уч. зап. МОИП. 1951. Т. XVII. Вып.5. С. 182-192.
- Короткий А.М. Причины и механизмы перестроек речной сети и их влияние на геоморфологические процессы в Приморье // Геоморфология. 2010. № 2. С. 78–91.
- Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А., Сеницын В.И. Сейсмические наблюдения в Долине Гейзеров // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. №2. Вып.10. С.171–172
- Лебедева Е.В. Влияние лавовых потоков на строение долин и развитие речной сети // Геоморфология. 2016а. № 3. С. 78-91.
- Лебедева Е.В. Влияние выбросов пирокластического материала на морфологию долин и развитие речной сети (на примере вулканов Северной группы, Камчатка) // Геоморфология. 2016б. № 4. С.56-69.
- Лебедева Е.В. Кальдера вулкана Ксудач (Камчатка) современные процессы рельефообразования и особенности строения долинной сети // Геоморфология. 2017а. № 3. С.60-75.
- Лебедева Е.В. Озера кальдерного комплекса Ксудач (Камчатка): береговые процессы и колебания уровня // Геоморфология. 2017б. № 4. С. 35-49.
- Лебедева Е.В., Михалев Д.В., Кладовщикова М.Е. Опасные и катастрофические процессы южноамериканских Анд // Геоморфологи. Вып.5: Новые решения старых проблем. М.: Медиа-ПРЕСС, 2014. С. 43-56.
- Лебедева Е.В., Михалев Д.В., Шварев С.В. Геоморфологическая напряженность центрального сектора горной системы Анд // Геоморфология. 2015. № 2. С. 77-88.
- Лебедева Е.В., Сугробов В.М., Чижова В.П., Завадская А.В. Долина р. Гейзерной (Камчатка): гидротермальная деятельность и особенности рельефообразования // Геоморфология. 2020. № 2. С. 60-73.
- Мелекесцев И.В. Особенности некоторых рельефообразующих процессов молодых вулканических районов (на примере Камчатки) // Вопр. географии Камчатки. 1967. Вып. 5. С. 80-87.
- Мелекесцев И.В. Вулканизм и рельеф // Проблемы эндогенного рельефообразования. М.: Наука, 1976. С. 350-398.
- Муравьев Я.Д., Федотов С.А. Будников В.А., Озеров А.Ю., Магуськин М.А., Двигало В.Н., Андреев В.И., Иванов В.В., Карташева Л.А., Марков И.А. Вулканическая деятельность в Карымском центре в 1996 г.: вершинное извержение Карымского вулкана и фреато-магматическое извержение в кальдере Академии Наук // Вулканология и сейсмология. 1997. № 5. С. 38-71.
- Пинегина Т.К., Делемень И.Ф., Дроздин В.А., Калачева Е.Г., Чирков С.А., Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Леонов В.Л., Селиверстов Н.И. Камчатская долина гейзеров после катастрофы 3 июня 2007 г. // Вестник ДВО РАН. 2008. № 1. С.33-44.

- Пономарева В.В. Крупнейшие эксплозивные вулканические извержения и применение их тефры для датирования и корреляции форм рельефа и отложений: Автореф. дис. ... доктора географ. Наук. М.: ИГ РАН, 2010. 50 с.
- Рыбин А.В., Дегтерев А.В., Разжигаева Н.Г., Ганзей К.С., Чибисова М.В. Активные вулканы Курильских островов: вулкан Пик Сарычева. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2012. 80 с.
- Сейнова И.Б., Черноморец С.С., Демянчук Ю.В. Эндогенный механизм формирования лахаров на андезитовых вулканах (на примере вулкана Шивелуч, Камчатка) // ГеоРиск. 2014. № 4. С. 44-54.
- Сковитина Т.М. Плотинные озера Саяно-Байкальской Становой горной области // Геоморфология. 2002. № 3. С. 79 – 88.
- Щетников А.А. Озера Окинского плоскогорья// Геоморфология. 2002. № 3. С.88 - 95.
- Черноморец С.С., Сейнова И.Б. Селевые потоки на вулканах. Уч. пособие. М.: УНЦ ДО, 2010. 72 с.
- Ярмолюк В.В., Козловский А.М., Кудряшова Е.А., Лебедев В.И., Сугоракова А.М. Крупнейшие долинные излияния в кайнозое Азии: особенности строения, состава и условия формирования «лавова реки» долины Малого Енисея // Вулканология и сейсмология. 2004. № 4. С. 3-20.
- Belousov A., Belousova M., Voight B. Multiple edifice failures, debris avalanches and associated eruptions in the Holocene history of Shiveluch volcano, Kamchatka, Russia // Bull.Volcanol. 1999. Vol. 61. P. 324-342.
- Brand B.D., Bendaña S., Self S., Pollock N. Topographic controls on pyroclastic density current dynamics: Insight from 18 May 1980 deposits at Mount St. Helens, Washington (USA) // Journ. of Volcanology and Geothermal Research. 2016. Vol.321. P.1-17.
- Galeczka I., Eiriksdottir E.S., Hardardottir J., Oelkers E.H., Torssander P., and Gislason S.R. The effect of the 2002 glacial flood on dissolved and suspended chemical fluxes in the Skaftariver, Iceland // Journ. of Volcanology and Geothermal Research. 2015. Vol. 301. P.253-276.
- Gudmundsson A.T. Living Earth – Outline of the geology of Iceland. Reykjavik: Forlagid, 2013. 408 p.
- Kataoka K.S., Urabe A., Manville V., and Kajiyama A. Breakout flood from an ignimbrite-dammed valley after the 5 Ka Numazawako eruption, northeast Japan // Geological Society of America Bull. 2008. Vol.120. Is. 9/10. P. 1233-1247.
- The Atlas of Merapi volcano. F. Lavigne, J. Morin, Surono (Eds.) 1st Edition, Paris, 2015. 64 p.
- Thouret J.-C. Volcanic hazards and risks: a geomorphological perspective// Geomorphological hazards and disaster prevention. N.-Y.: Cambridge Univ. Press, 2010. P.13-32.
- Thouret J.-C., Antoine S., Magill C., Ollier C. Lahars and debris flows: characteristics and impacts // Earth-Science Review. 2020. Vol. 201. 103003
- Tilling R.I. Volcanism and associated hazards: the Andean perspective // Advances in Geosciences. 2009. No 22. Pp. 125–137.
- Waythomas S.F. Formation and failure of volcanic debris dams in the Chakachatna River valley associated with eruptions of the Spurr volcanic complex, Alaska // Geomorphology. 2001. Vol. 39. Is. 3-4. P.111-129.
- Witham C.S. Volcanic disasters and incidents: A new database // Journ. of Volcanology and Geothermal Research. 2005. Vol.148. Is. 3-4. P.191-233.