



ВУЛКАНИЗМ и связанные с ним процессы

XXVIII ежегодная научная конференция,
посвященная Дню вулканолога
24-29 марта 2025 г.

Материалы конференции



Петропавловск-Камчатский
2025

Динамика обвального-селевых отложений извержения вулкана Жупановский 2014-2016 гг.

Школьный Д.И.¹, Цыпленков А.С.², Бахарева Е.И.¹

Dynamics of landslide-mudflow deposits of the 2014-2016 Zhupanovsky volcano eruption

Shkolnyi D.I., Tsyplenkov A.S., Bakhareva E.I.

¹ МГУ им. М.В.Ломоносова, Географический факультет, г. Москва;

e-mail: danila.hydro@yandex.ru

² Manaaki Whenua – Landcare Research, г. Палмерстон-Норт (Новая Зеландия)

На основании данных дистанционных наблюдений произведен анализ динамики отложений обвалов и селевых потоков, возникших на южном склоне вулкана Жупановский в ходе извержений 2014-2016 гг., и выполнена оценка объема поступившего материала.

Введение

На полуострове Камчатка насчитывается 29 действующих вулканов, каждый из которых – опасный селевой очаг. Вследствие распространения рыхлых пирокластических отложений на склонах, наличия снежников и ледников, служащих источниками водной составляющей лахаров, и частого выпадения интенсивных осадков, сход вулканогенных селей типичен для региона. В результате эксплозивной активности Жупановского вулкана (конуса Приемыш) в 2015-2016 гг. произошел обвал стенки его активного конуса в юго-западном направлении, что выразилось в формировании значительного по площади чехла из вулканогенных отложений (как обвального генезиса, так и пирокластических потоков), покрывшего прилегающие к склонам вулкана территории. Будучи значительно водонасыщенной (как за счет снежников и погребенного льда, так и за счет предшествующих событию обильных дождей), часть обвального материала трансформировалась в вулканический сель – лахаровый поток, заполнивший прилегающие к склону вулкана эрозионные врезы и долины водотоков в бассейне руч. Домашний (правый приток р. Налычева, площадь водосбора – 124.5 км²).

Хронология развития процесса

Первые проявления активизации Жупановского вулкана, по данным группы KVERT, произошли 23.10.2013 г., эруптивная деятельность вулкана в виде выбросов пепла продолжалась с регулярной частотой на протяжении следующих двух лет. В июле 2015 г. и в феврале 2016 г. во время эксплозивных событий произошло постепенное обрушение конуса Приемыш. Согласно [2-4], можно выделить несколько стадий трансформирования территории: 1) поступление материала от первичного обвала конуса (12.06.2015 г.), его перекрытие отложениями пирокластических потоков и формирование водонасыщенных лахаровых потоков на поверхности обвального тела и прилегающей территории. Это сформировало две ветви выноса материала – в юго-западном и южном направлении; 2) дополнительное разрушение части конуса (14.07), увеличившее мощность отложений на юго-западной ветви; 3) взрывные разрушения стенки конуса (27-30.11), материал которых был перераспределен по ветвям выноса водными потоками из растопленного при извержении льда и снега; 4) окончательное взрывное разрушение стенки конуса (12.02.2016 г.), сформировавшее новое обвальное тело и пирокластические потоки; 5) обвал склонов под конусом и пирокластические потоки, связанные с эксплозивным событием (24.03). С большой долей вероятности, во время каждого из этих событий формировались лахаровые, грязекаменные потоки, распространявшиеся в основном в южном направлении и увеличившие на 19 % площадь затронутой территории по отношению к первичному обрушению. После окончания извержения началась эрозионная трансформация покрытой обвальными и лахаровыми отложениями территории за счет переноса мелкодисперсного материала

водными потоками, что к 2025 г. увеличило площадь затронутой территории еще на 3 % – в основном, в крайней южной части, где чехол отложений, заполнивших долину руч. Домашний, достиг русла р. Налычева к июню 2018 г. Общая площадь отложений составила 25.7 км², в т.ч. 3.8 км² – частично перекрытые отложения самого обвала, 17.7 км² – отложения первичных грязевых потоков и 4.2 км² – переотложенный материал (рис. 1). Предпосылкой формирования вулканогенного селя стали обильные осадки – так, на ближайшей к участку исследований м/с Светлый в период с 01.07 по 12.07.2015 г. сумма осадков превысила норму в 7.6 раз, общая сумма за летний период оказалась в 2.5 раза больше среднеголетних значений. За двое суток перед взрывным разрушением (26-27.10.2015 г.) выпало 307 мм осадков, что составляет 200 % от нормы октября. Насыщение рыхлого материала водой, вероятно, в обоих случаях способствовало его вовлечению в транзит.

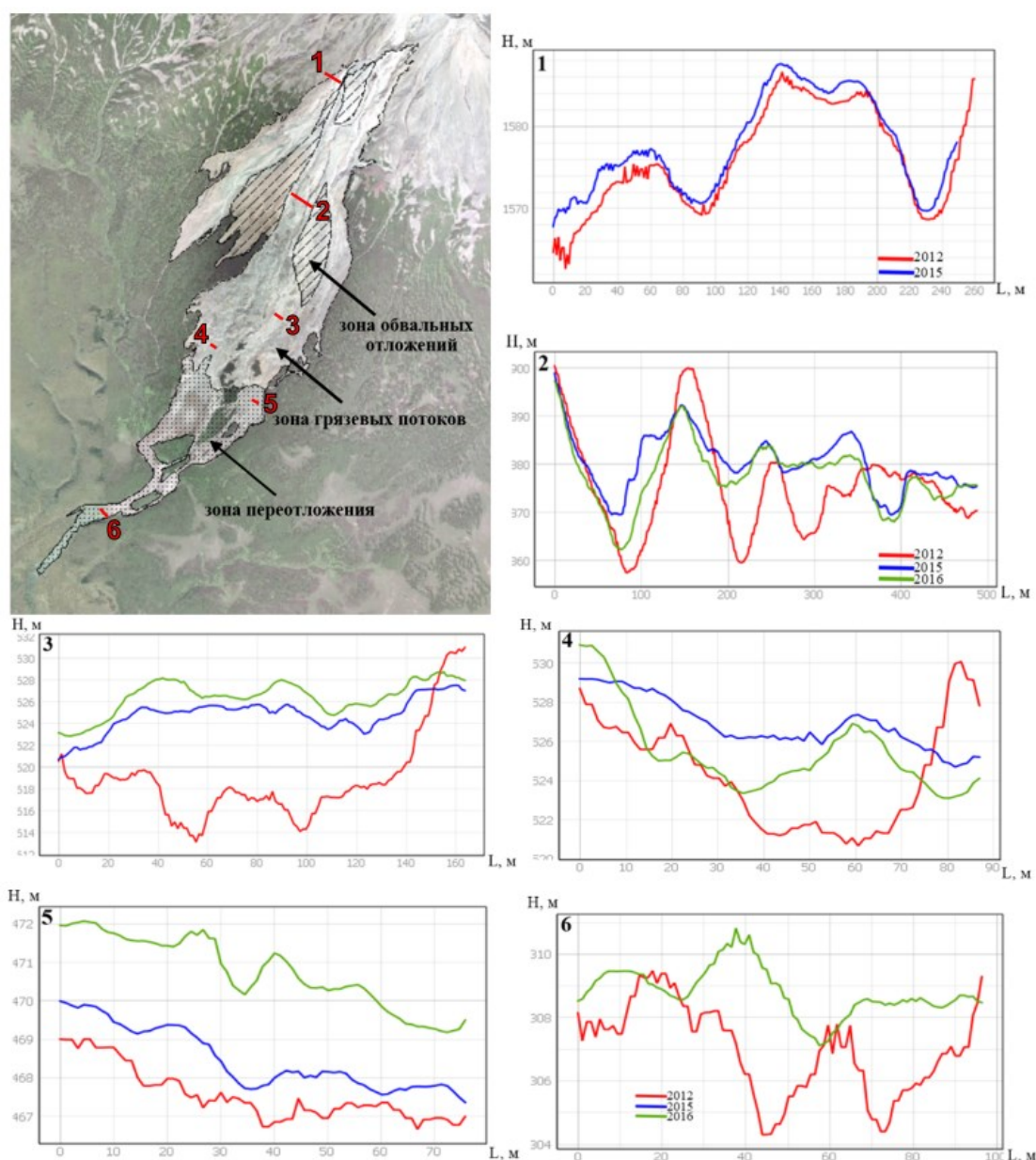


Рис. 1. Классификация отложений и поперечные профили на отдельных участках.

Определение объема отложений и их динамика

По оценкам [2], объем обвальных отложений составил около 0.03 км³, а перемещенного лахаром материала – более 0.07 км³. Для уточнения объема материала были использованы разновременные цифровые модели местности (ЦММ) ArcticDEM субметрового разрешения,

полученные из стереопар высокодетаельных оптических снимков поверхности Земли. На участок исследований доступны модели от 23.06.2012 г. и 12.02.2013 г. (до события), 05.10.2015 г. (после первичного обвала), 21.05.2016 г. и 07.07.2016 г. (после полного разрушения и основной фазы переноса материала). Покрытие участка ЦММ показано на рис. 2. Из-за значительной погрешности привязки исходных моделей была дополнительно выполнена привязка разновременных ЦММ между собой методом корегистрации [5, 7] при помощи библиотеки `rubob` языка Python.

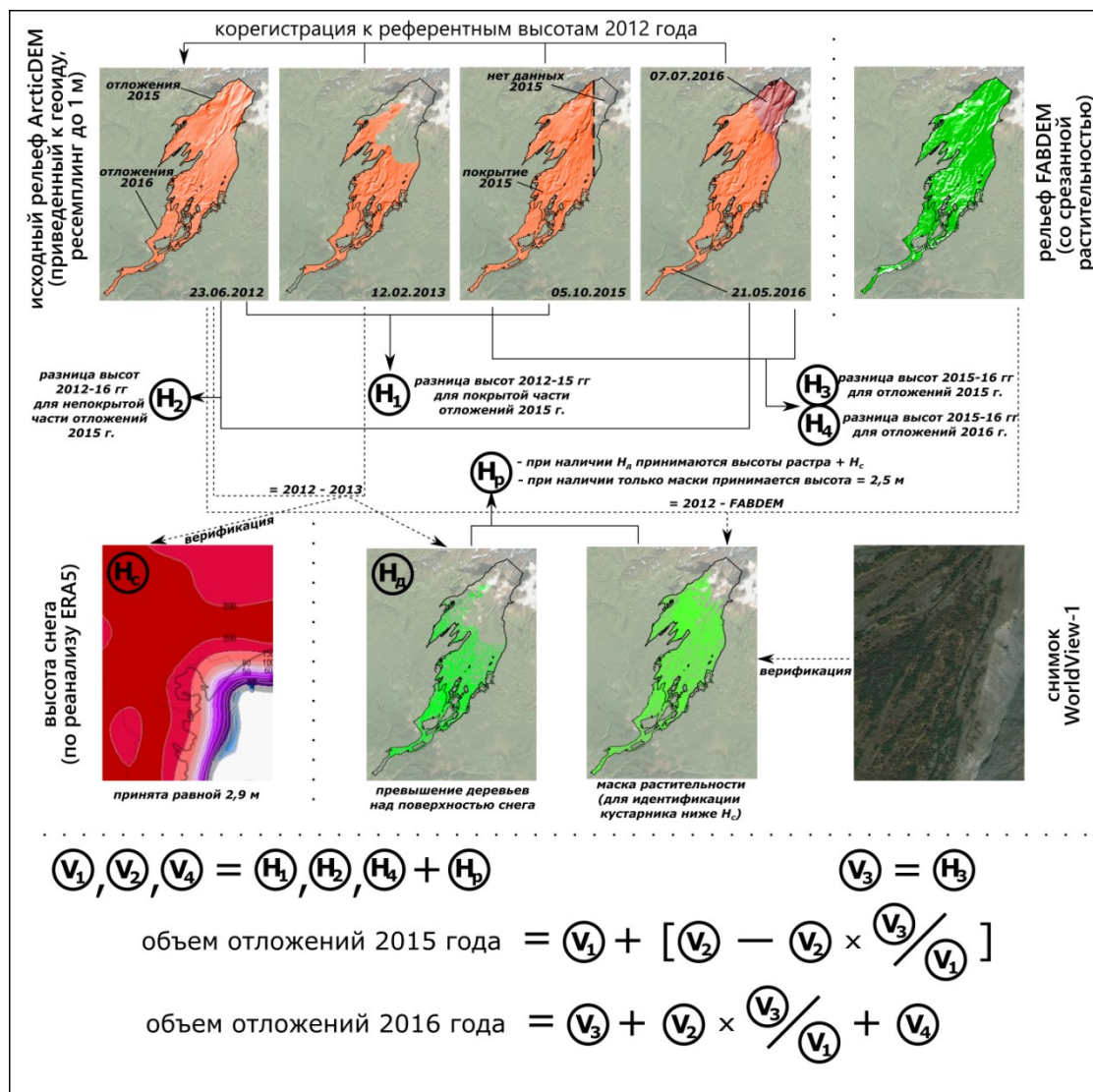


Рис. 2. Блок-схема определения толщины (H) и объема (V) отложений.

Для корректного определения изменений необходимо было учесть растительность, присутствовавшую на месте селевых отложений до их схода, и снежный покров. Для этого были использованы данные реанализа осадков ECMWF ERA5 на дату снимка, по которому высота снега на участке была принята за 2.9 м (на открытой поверхности) и 4 м в лесу (оценка на основании данных [1]). По разнице отметок моделей исходного рельефа 2012 и 2013 гг. было получено превышение деревьев над поверхностью снега, а по разнице модели 2012 г. и ЦМР FABDEM (построенной с применением машинного обучения и представляющей собой условную поверхность земли под растительностью) – суммарное покрытие деревьями и кустарниками (в том числе, ниже высоты снежного покрова). Эти участки были верифицированы по детальному снимку Worldview. Далее путем вычитания отметок были получены объемы материала за отдельные периоды, которые составили 0.058 км^3 за первый этап формирования отложений (до 05.10.2015 г.) и 0.017 км^3 – между

октябрем 2015 г. и летом 2016 г. Средняя толщина отложений в верхней и средней частях лахара, согласно разновременным моделям рельефа ArcticDEM, достигает 3-6 м, увеличиваясь в долинах существовавших ручьев до 20 м.

Во время схода обвала и лахара глубокие эрозионные врезы (15-20 м) заполнились материалом. Эрозионная сеть на занятой поступившим материалом территории была вынуждена формироваться заново, первоначально – за счет формирования водно-грязевых потоков при таянии снега. Верхние звенья русловой сети сформировались в зависимости от рельефа тела отложений, в то время как наиболее крупные водотоки преимущественно повторяют существовавшую до схода лахара структуру русловой сети левых притоков руч. Домашний (в том числе, за счет размыва тела обвала и лахара грунтовыми водами в тальвегах существовавших ручьев). В теле первичного события постоянные водотоки практически отсутствуют из-за интенсивной фильтрации, в зоне остановки языков лахара при активизации этих водотоков происходит аккумуляция материала. Перераспределение материала, поступающего в эту зону при смыве, осуществляется самим руч. Домашний, верхнее течение которого осталось незатронутым. За период после событий ручей сформировал эрозионный врез в теле лахара практически до глубины своего изначального русла, в связи с чем дальнейший размыв материала практически не происходит. Интенсивность развития врезов в тело обвала и лахара также высока – по сопоставлению разновременных профилей, она достигала 2-5 м за первый год после события (рис. 1).

Стоит отметить, что объем поступившего при сходе лахара материала превышает оценочный годовой сток наносов р. Налычева более чем в тысячу раз. Такой значительный объем неотсортированного материала, с учетом высокого эрозионного потенциала территории, не может не повлиять на сток наносов и в перспективе способен значительно изменить как его объемные значения, так и повлиять на химический состав выносимой взвеси, что наблюдалось в 2016-2018 гг. [6]. Дальнейшее развитие склоновых процессов на этом участке может привести к значительному увеличению воздействия на р. Налычева и ее биоту.

Результаты получены при финансовой поддержке проекта Министерства высшего образования и науки (075-15-2024-614).

Список литературы

1. *Виноградов В.Н.* Распределение снежного покрова на Камчатке // Вопросы географии Камчатки. 1964. Вып. 2. С. 3-29.
2. *Горбач Н.В., Самойленко С.Б., Плечова А.А., Мельников Д.В.* Обвал на вулкане Жупановский (Камчатка) в июле 2015 г.: первые данные и наблюдения // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2015. № 3. Вып. 27. С. 5-11.
3. *Гордеев Е.И., Гирина О.А., Лупян Е.А. и др.* ИС VolSatView: комплексный анализ данных об эксплозивных извержениях вулканов Камчатки // Вестник ДВО РАН. 2016. № 5. С. 120-127.
4. *Гирина О.А., Лупян Е.А., Сорокин А.А. и др.* Спутниковые и наземные наблюдения эксплозивных извержений вулкана Жупановский (Камчатка, Россия) в 2013 и 2014-2016 гг. // Вулканология и сейсмология. 2018. № 1. С. 3-17.
5. *Харченко С.В.* Способ корегистрации цифровых моделей высот для получения гидрологически корректного представления земной поверхности // Геоморфология и палеогеография. 2023. Т. 54. № 3. С. 150-164.
6. *Чалов С.Р., Цыпленков А.С., Школьный Д.И. и др.* К оценке возможного влияния материкового стока на гибель гидробионтов в Авачинском заливе Тихого океана (Камчатка) // Известия Русского географического общества. 2022. Т. 154. № 4. С. 69-84.
7. *Nuth C., Kääb A.* Co-registration and bias corrections of satellite elevation data sets for quantifying glacier thick-ness change // The Cryosphere. 2011. V. 5. № 1. P. 271-290.