

УДК 551.21

## КАТАСТРОФИЧЕСКОЕ ЭКСПЛОЗИВНОЕ ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНА ШИВЕЛУЧ 11 АПРЕЛЯ 2023 г., КАМЧАТКА

© 2024 г. Н. А. Жаринов<sup>а, \*</sup>, Ю. В. Демянчук<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,  
бульвар Пийна, 9, Петропавловск-Камчатский, 683006 Россия

\*e-mail: nzhar@kscnet.ru

Поступила в редакцию 24.07.2023 г.

После доработки 21.09.2023 г.

Принята к публикации 20.10.2023 г.

Приведены данные об извержении вулкана Шивелуч 11 апреля 2023 г. Выполнена оценка последствий этого извержения. В результате направленного взрыва произошло разрушение лавового купола, формирование которого продолжалось более 42 лет. По данным, полученным непосредственно перед извержением, объем лавового купола был близок  $0.53 \text{ км}^3$ . В ходе извержения образовалось поле взрывных отложений площадью  $\sim 70 \text{ км}^2$  и объемом  $0.49 \text{ км}^3$ . Одновременно с направленным взрывом прошли пирокластические потоки, которые распространились на 25–30 км от вулкана. Пеплопад, сопровождавший извержение, имел протяженность более 200 км. Вес пробы пепла в зависимости от расстояния до вулкана менялся от 1.2 до  $43.9 \text{ кг/м}^2$ . Площадь пепловых отложений (с весом пепловых проб более  $50 \text{ г/м}^2$ ) была около 17 тыс.  $\text{м}^2$ , объем отложений пепла –  $0.09 \text{ км}^3$ . По общему объему извергнутых продуктов (более  $0.60 \text{ км}^3$ ) извержение вулкана Шивелуч 11 апреля 2023 г. можно отнести к крупнейшим катастрофическим извержениям этого столетия.

*Ключевые слова:* вулкан Шивелуч, эксплозивное извержение, направленный взрыв

DOI: 10.31857/S0203030624010017, EDN: QBVIII

### ВВЕДЕНИЕ

Андезитовый вулкан Шивелуч входит в Северную группу вулканов Камчатки, по частоте и объему продуктов извержений (36 млн т/год) занимает второе место на Камчатке. Основные события последние 10 тыс. лет и на современном этапе происходили и происходят внутри кальдеры вулкана Молодой Шивелуч. Активность вулкана проявляется в катастрофических эксплозивных извержениях, вызывающих разрушения экструзивных куполов, и последующим ростом новых лавовых куполов. На современном этапе такие извержения происходили 22 апреля 1993 г., 19 мая 2001 г., 10 мая 2004 г., 3 декабря 2013 г. [Действующие вулканы ..., 1991; Жаринов и др., 1995; Мелекесцев и др., 2003, 2004; Жаринов, Демянчук, 2013; Жаринов и др., 2022].

После крупных эксплозивных извержений наблюдается повышение расхода извергнутых

продуктов. На вершине купола образуется скопление лавовых блоков, так называемая корона. В случае разрушения короны купола происходят обрушения (обвалы), что провоцирует последующее пароксизмальное развитие событий. Крупные обрушения лавовых блоков происходят при увеличении вязкости поступающей лавы при ее остывании. Для оценки масштаба извержения вулкана Шивелуч, произошедшего 11 апреля 2023 г., в статье приводятся величины объемов изверженных продуктов.

В предыдущих исследованиях было высказано предположение о возможности крупных эксплозивных извержений вулкана Шивелуч в ближайшее время [Жаринов, Демянчук, 2022]. Катастрофическое эксплозивное извержение 11.04.2023 г. произошло после повышенной вулканической активности в течение полутора лет (рис. 1).



Рис. 1. Вулкан Шивелуч перед катастрофическим извержением 11 апреля 2023 г. Фото Ю.В. Демянчука.

#### ДИНАМИКА ИЗВЕРЖЕНИЙ ВУЛКАНА С ИЮНЯ 2022 г. ПО АВГУСТ 2023 г.

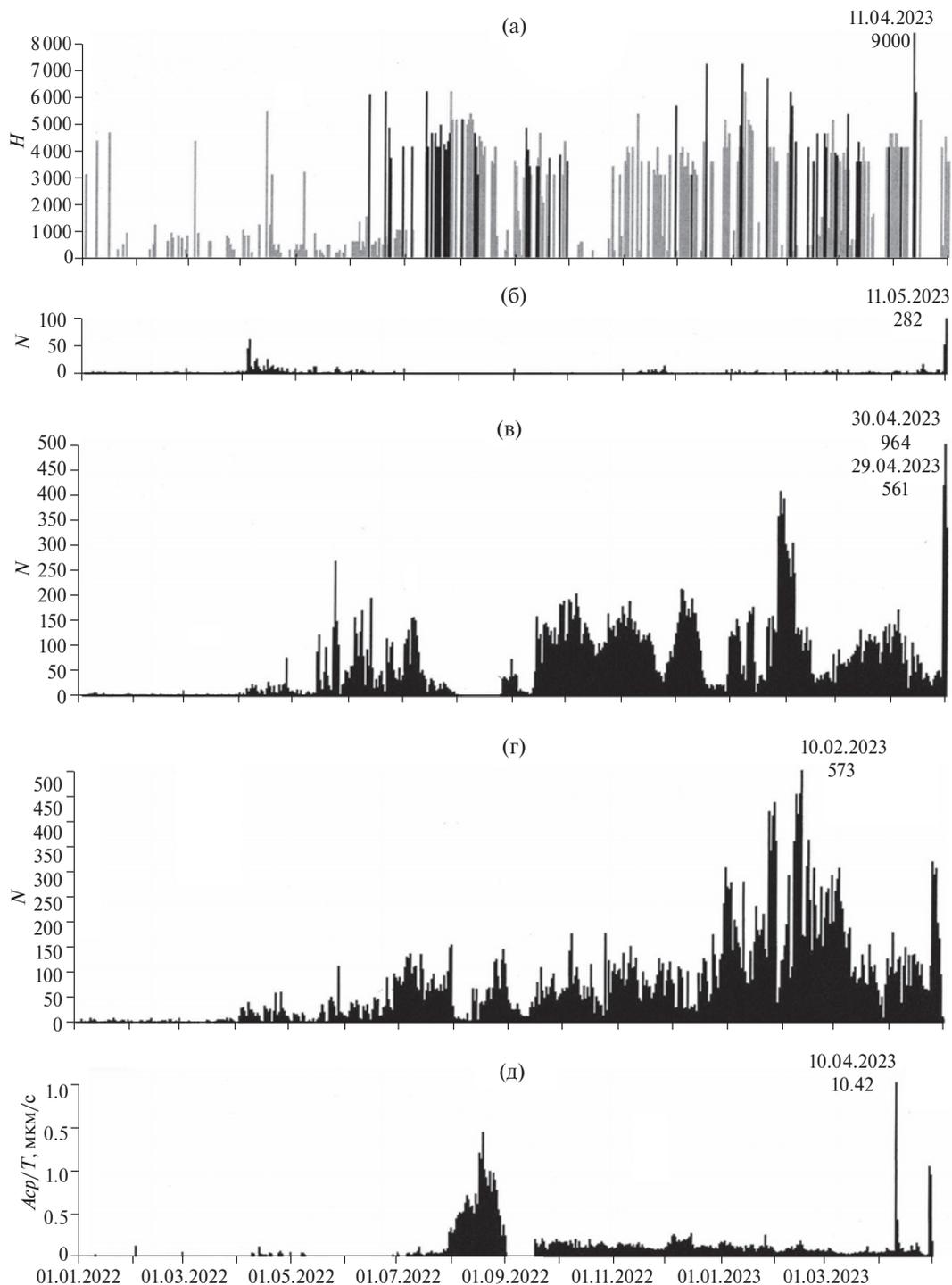
Каждое катастрофическое извержение вулкана Шивелуч имеет три стадии развития: докульминационную, пароксизмальную стадию с выбросом больших объемов вулканических продуктов и на заключительной стадии наступает посткульминационная деятельность.

**Докульминационная деятельность.** Извержение 2023 г. не было неожиданным. С начала роста нового лавового купола в кратере вулкана Молодой Шивелуч в августе 1980 г. шло постепенное заполнение внутрикратерного пространства. Появление и рост нового купола в 1980–1981 гг. происходил без каких-либо признаков сейсмической подготовки [Хубуная и др., 1995]. По мере увеличения объема купола и заполнения кратера выжимание купола стало сопровождаться сейсмической активностью [Федотов и др., 2004]. Это выражалось в появлении землетрясений с глубиной очагов до 5 км под вулканом и вулканическим дрожанием (ВД), сопровождающим выжимание новых порций лавы (рис. 2).

По визуальным данным повышенная вулканическая активность на вулкане Шивелуч перед извержением 11.04.2023 г. стала проявляться

с середины июня 2022 г. С 17 августа в ночное время на вершине купола появилось свечение, а с начала сентября наблюдалось свечение всей вершины. На экструзивном куполе начали происходить редкие пепловые выбросы. Затем последовали обломочные лавины, что свидетельствовало о выжимании новых блоков вязкой лавы. Повышение активности подтверждало увеличение во второй половине года обвальных лавин. Порой небольшие лавины шли почти непрерывно. Как правило, в течение часа происходила одна мощная лавина и несколько слабых. Обвальные лавины сходили в юго-западном направлении в сторону р. Байдарная и в юго-восточном направлении в сторону р. Бекеш, но большая часть обвалов происходила в юго-восточном направлении.

С начала 2023 г. активность продолжала расти. Высота купола достигла более 650 м, постройка была изрезана множеством расщелин, образованных каменными лавинами. Постройка купола внутри была раскалена и при обвалах на склоне купола возникало свечение (см. рис. 1). Этот процесс был хорошо виден на ночных снимках. В начале апреля большая часть раскаленных обвальных лавин продолжала сходить в юго-восточном направлении.



**Рис. 2.** Суточные характеристики сейсмической и вулканической активности в 2021–2023 гг. а – изменения высот парогазовых и пепловых выбросов (залитые линии); б – число вулканических землетрясений I типа; в – число вулканических землетрясений II–III типа; г – число землетрясений IV типа. Тип землетрясений дан по классификации П.И. Токарева (1965). Характеристики сейсмической активности даны по данным КФ ФИЦ ЕГС РАН.

Повышенная вулканическая активность сопровождалась значительной сейсмической активностью, количество неглубоких землетрясений (до 5 км) под постройкой вулкана с начала мая до 10 февраля нарастало от 50 до 450 в сутки. В это же время произошел всплеск повышенного ВД (до 1.5 мкм/с в августе 2022 г.) (см. рис. 2).

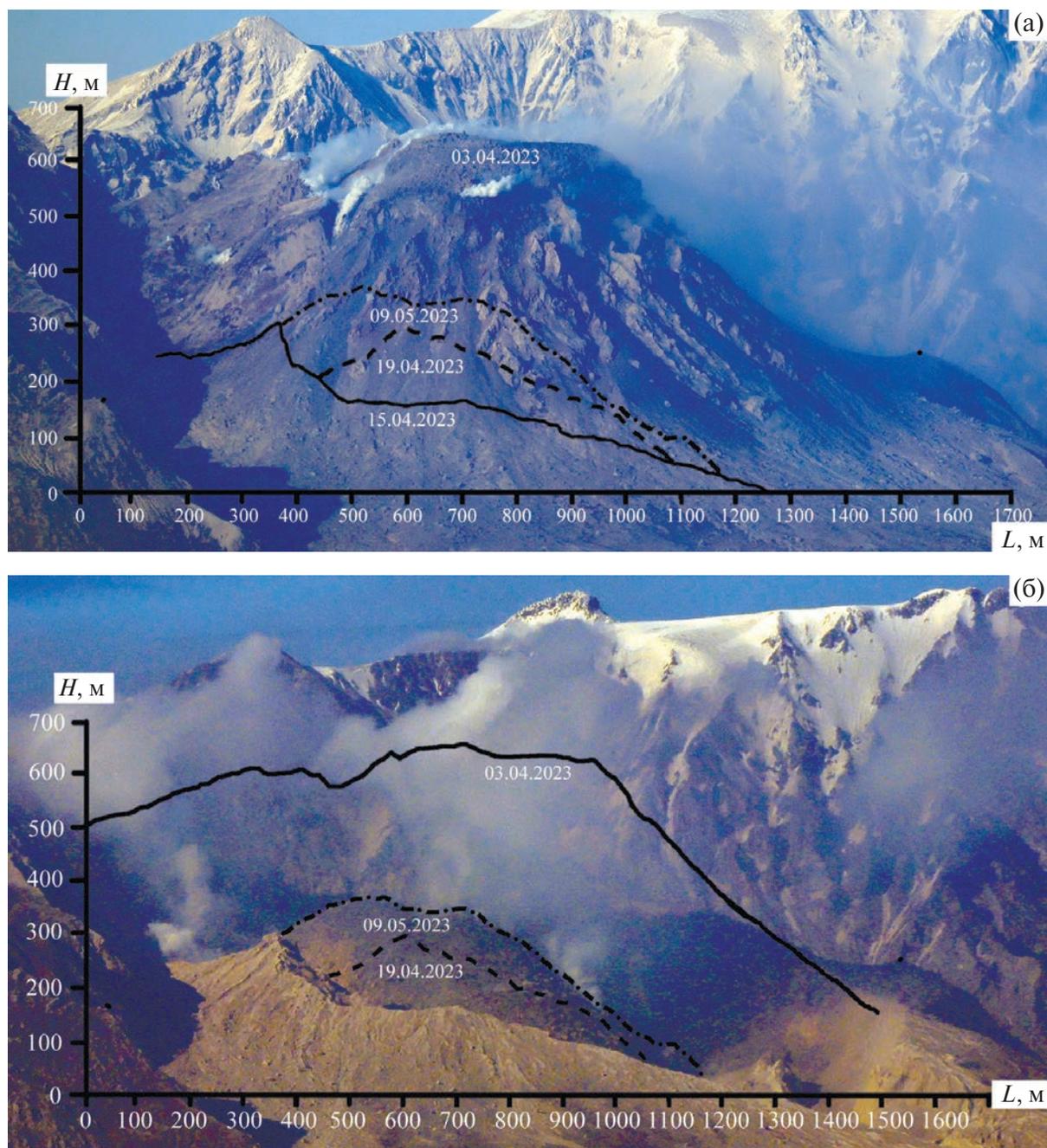


Рис. 3. Профили лавового купола до извержения (а) и после извержения (б) вулкана Шивелуч 11 апреля 2023 г.

**Кульминационная стадия.** Примерно в 1:00 ч по местному времени 11 апреля 2023 г. началось пароксизмальное извержение вулкана Шивелуч. В это время вулкан был закрыт плотным слоем облаков, поэтому судить о начале извержения можно было только по сейсмическим данным.

Первый взрыв произошел сразу после 1:00 ч. Он сопровождался пепловым выбросом и вызвал сход пирокластического потока. Около 5 ч

30 мин произошел второй выброс и через час третий — это и была кульминация пароксизмального извержения вулкана Шивелуч. Оно сопровождалось грохотом, в пепловой колонне происходили вспышки молний, гремел гром.

Ю.В. Демянчук описывает события после выброса в 5 ч 30 мин следующим образом: “Проснулся от грохота и звуков грома в 6 часов утра, вышел на улицу. Грохот и звуки грома раздавались со стороны вулкана Шивелуч.



Рис. 4. Лагерь лесорубов в 18 км от вулкана, погребенный отложениями пирокластического потока.

Уже было довольно светло. Потом появилось темное облако, которое быстро приближалось к поселку Ключи. Начался сильный пеплопад, через 10 мин стало темно как ночью. Пепел шел вместе с легким снегом. Все быстро покрылось толстым слоем пепла со снегом. Стоял резкий запах серы и еще чего-то. Дышать было неприятно. Мощный пепел выпадал около 5 часов, после чего совсем слабый пеплопад шел почти весь день. Только после 10 часов утра свет начал пробиваться сквозь атмосферу, загруженную взвесью пепла”.

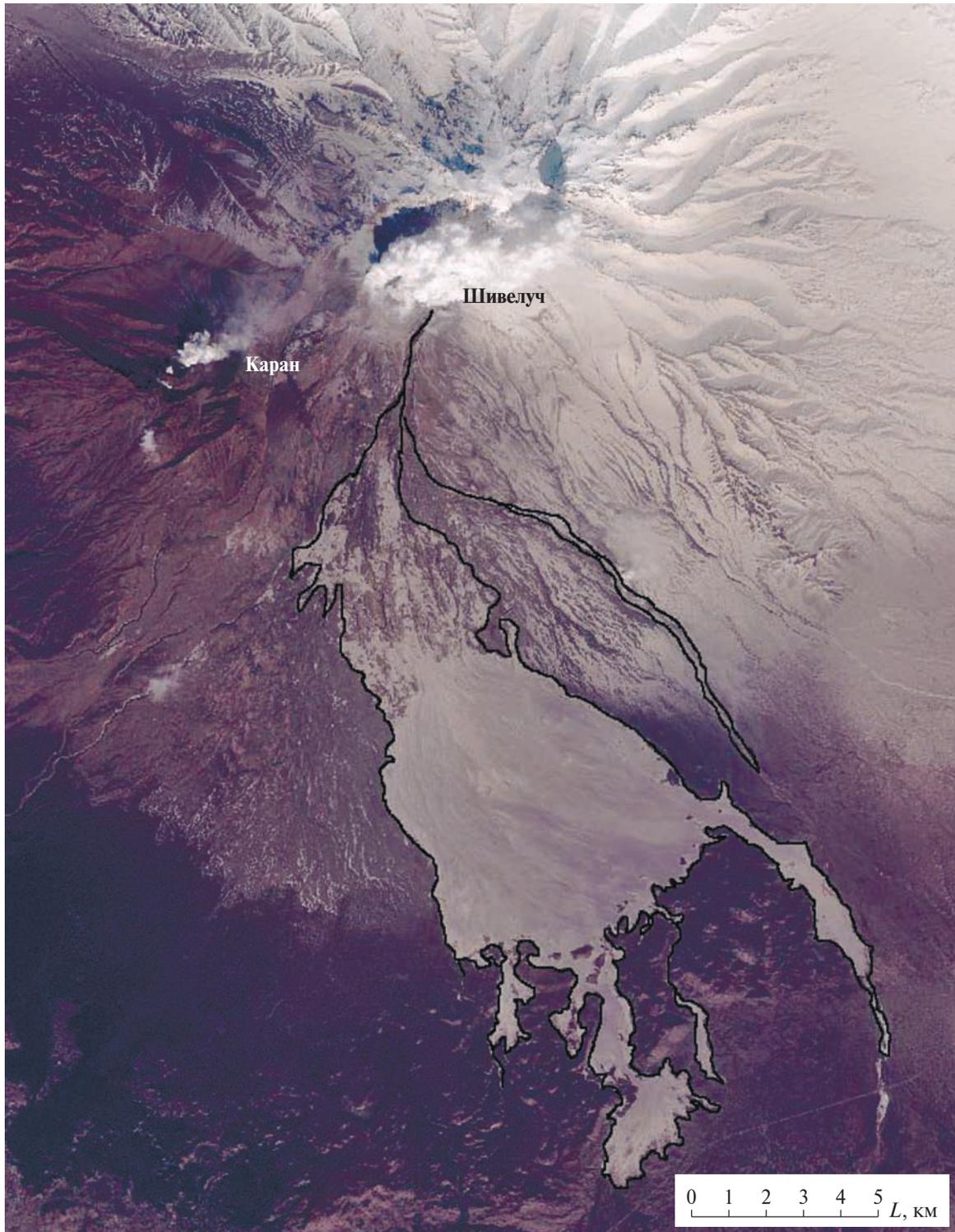
Пеплом покрыло территорию более 30000 км<sup>2</sup>. Поселок Ключи изменился, все стало коричневатого цвета. Слой пепла в поселке в 45 км от вулкана был близок 7–8 см, средний вес пробы пепла на Камчатской вулканологической станции был 25 кг/м<sup>2</sup>. На следующий день на солнце пепел превращался в жидкую грязь, которая облепляла обувь.

Для сравнения приведем данные о пеплопаде во время извержения Шивелуча 12 ноября 1964 г. Мощность пеплового слоя в п. Усть-Камчатск в 90 км от вулкана Шивелуч составила 3–4 см, средний вес пробы пепла – 27.2 кг/м<sup>2</sup> [Пийп, Мархинин, 1965].

**Посткульминационная деятельность.** 13 апреля был обследован пирокластический поток, сошедший во время извержения. Основная часть потока была направлена на юго-восток в сторону р. Бекеш (Кабеку). Фронт потока не дошел до моста через р. Бекеш 2 км. Отдельные рукава потока не дошли до федеральной трассы Ключи–Усть-Камчатск всего 600 м.

15 апреля на короткое время приоткрыло вулкан. По видеосъемкам было определено, что на месте активного купола образовался громадный кратер, в котором уже начал расти новый внутрикратерный купол. Его вершина выступала над кромкой образовавшейся кальдеры–кратера (рис. 3).

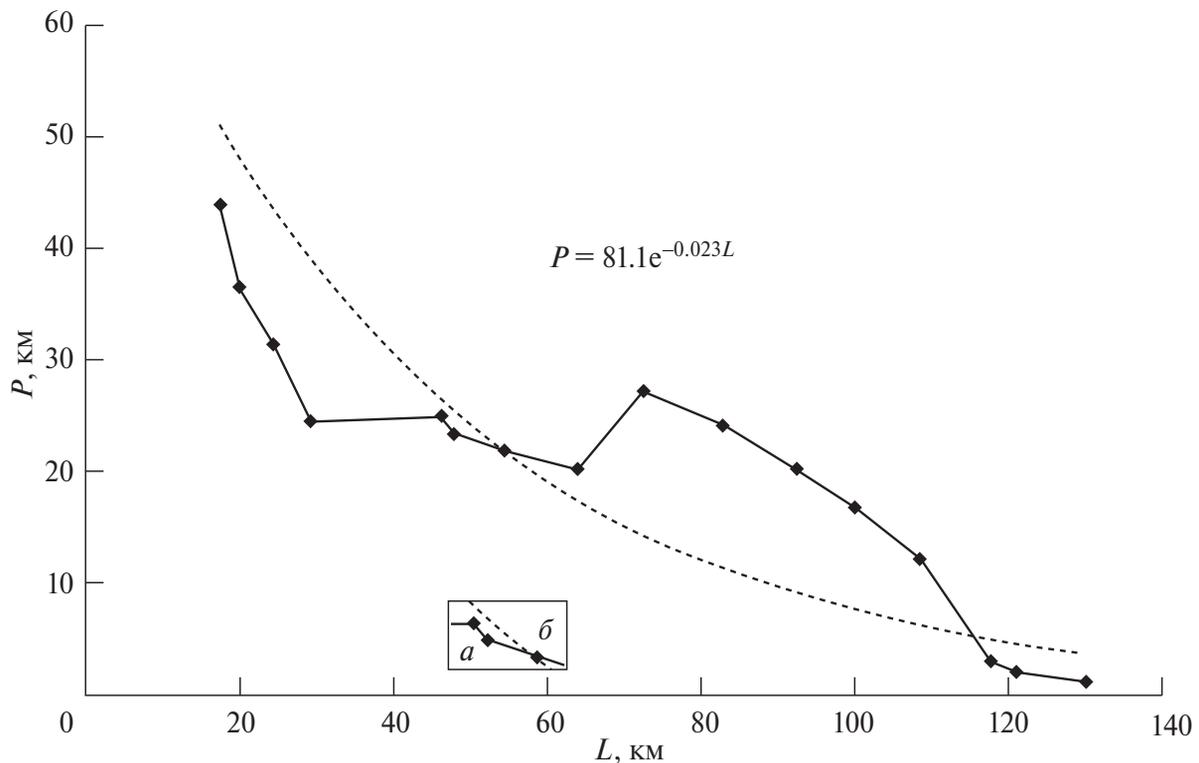
Последняя съемка до извержения была выполнена 3 апреля 2023 г. На эту дату купол достиг наибольшей высоты (650 м) и объема (0.53 км<sup>3</sup>), последующие съемки были выполнены после извержения 19.04.2023 г. и 09.05.2023 г. (см. рис. 3а, 3б). Получены следующие значения объемов вновь появившегося лавового купола: 0.042 и 0.086 км<sup>3</sup> соответственно. Таким образом, за 20 дней объем купола увеличился на 0.044 км<sup>3</sup>, расход (скорость прироста объема купола) составил 2.2 млн м<sup>3</sup>/сутки.



**Рис. 5.** Схема отложений продуктов направленного взрыва во время катастрофического извержения вулкана Шивелуч 11 апреля 2023 г.

В районе р. Бекеш стояла бригада лесорубов по заготовке дров для п. Ключи. Утром в 6 часов они услышали сильный гул со стороны Шивелуча. Недолго думая, они собрались и выехали с делянки. Уже с трассы они увидели, как под

облаками появляется пирокластический поток и быстро движется вниз. Без остановок бригада быстро поехала в сторону п. Ключи. Слева от дороги они наблюдали продвижение фронта пирокластического потока по р. Бекеш.



**Рис. 6.** График убывания пепловых отложений во время катастрофического извержения вулкана Шивелуч 11.04.2023 г.

*a* – наблюдаемая зависимость убывания мощности отложений пепла; *б* – экспоненциальная.

Уже к вечеру 11 апреля лесорубы выехали к месту базирования и обнаружили, что их лагерь частично сгорел и погребен под толстым слоем пирокластик. Вся техника – трактора, бензопилы и двигатели – сгорели. Был нанесен колоссальный ущерб бригаде лесорубов (рис. 4).

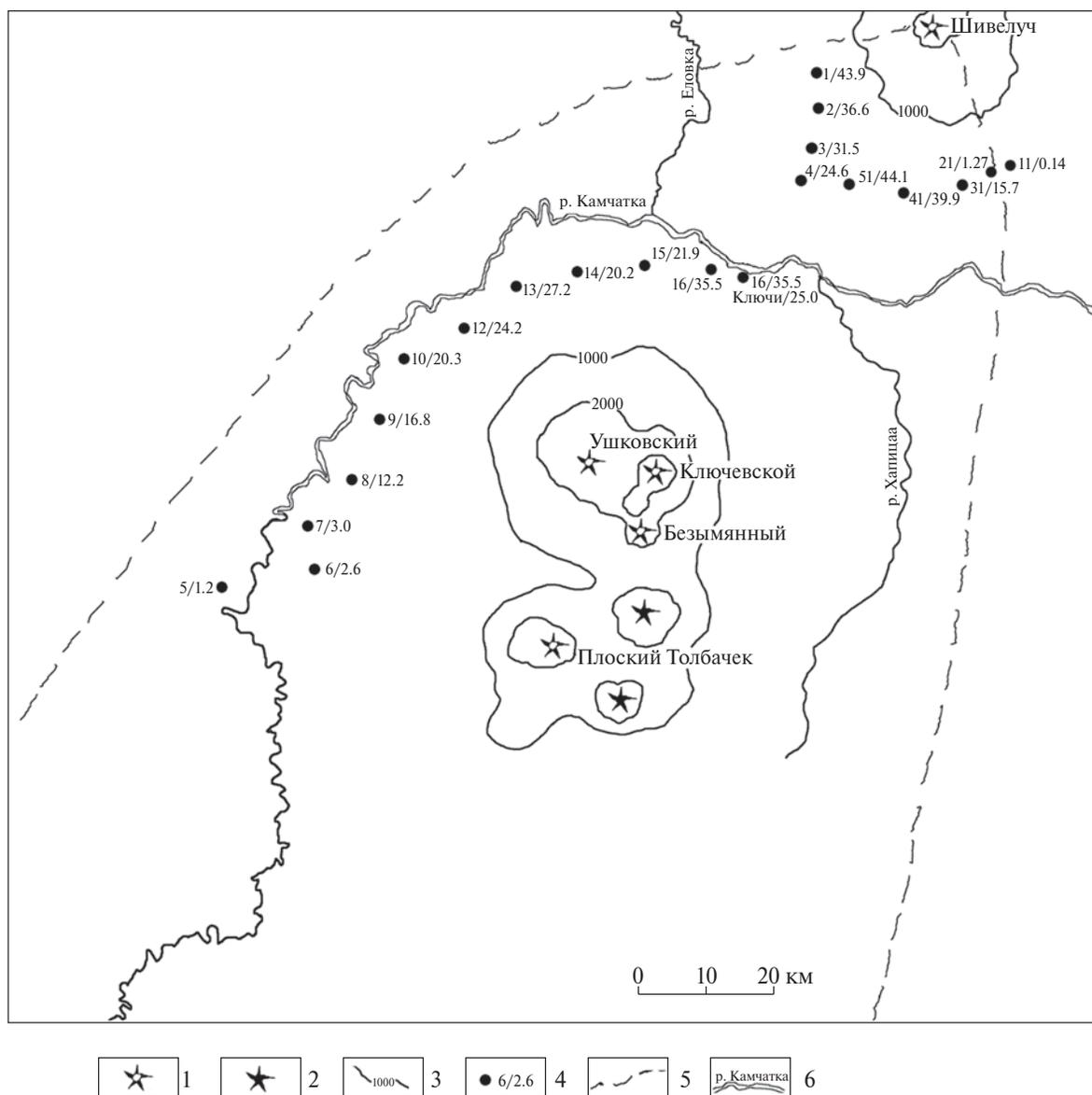
С 30 апреля на западной стороне вулкана Шивелуч в районе старого экструзивного купола Каран начала проявляться мощная парагазовая активность. До 29 апреля 2023 г. активность на куполе Каран отсутствовала. Во время облета 7 мая на куполе Каран обнаружили три активных центра. Высота подъема парагазовых струй превышала 500 м. Можно предположить, что извержение Шивелуча повлияло на появление активности на куполе Каран. Его активность сохраняется до сих пор на высоком уровне, в ИК диапазоне иногда наблюдается слабое свечение.

#### ПОСЛЕДСТВИЯ ИЗВЕРЖЕНИЯ 11 АПРЕЛЯ 2023 г.

В результате извержения вулкана Шивелуч 11.04.2023 г. был разрушен лавовый купол, который формировался с августа 1980 г.

Образовался новый большой кратер диаметром 2–3 км. Извержение происходило в виде направленного взрыва, сопровождаемого огромным пирокластическим потоком. Площадь отложений пирокластического потока составила 70 км<sup>2</sup>, основная часть отложений направленного взрыва распространилась на 25–26 км от вулкана, отдельные рукава потока достигали 32 км. Отложения пирокластического потока заполнили долины сухих рек, выровняли рельеф. Мощность отложений в отдельных местах превышала 10–15 м. Объемы отложений направленного взрыва и пирокластического потока оцениваются в 0.49 км<sup>3</sup> (рис. 5).

Важным последствием извержения было образование огромного покрова пепловых отложений. Для определения объема отложений был отобран 21 образец проб пепла на расстояниях от 17 до 130 км от вулкана. На рис. 6 показан характер убывания мощности проб пепловых отложений по мере удаления от вулкана. Площадь, на которой выпала основная масса пепловых отложений, составила 17378 км<sup>2</sup> (рис. 7). Она была разделена на три участка: первый секторный с углом раствора 90° и радиусом 31.6 км, второй



**Рис. 7.** Схема распространения пепловых отложений и мест отбора проб пепла извержения вулкана Шивелуч 11.04.2023 г.

1 – действующие вулканы; 2 – потухшие вулканы; 3 – горизонталы; 4 – точки отбора проб пепла (цифрами обозначена масса пробы пепла в кг/м<sup>2</sup>); 5 – граница пеплового шлейфа; 6 – названия рек.

в виде трапеции со сторонами 87.5 и 127.5 км и удаленный от вулкана на 31.6 км и 103.5 км, третий в виде прямоугольника включил дальнюю зону с удалением от 103.5 км до 200 км от вулкана. С учетом убывания мощности пепловых отложений по мере удаления от вулкана для расчета приняты следующие значения мощности отложений для каждого отдельного участка соответственно: 31.6, 20.2, 05 кг/м<sup>2</sup>. Оценка массы и объема пепловых отложений выполнена с применением соотношений для различных, наиболее типичных форм изопахит [Широков, 1985].

Общая масса отложений пепла для извержения вулкана Шивелуч 11 апреля 2023 г. составила 108.4 млн т. При плотности пепла 1.2 г/см<sup>3</sup> объем отложений пепла составил 0.090 км<sup>3</sup>. Общий объем извергнутых продуктов во время катастрофического извержения вулкана Шивелуч 11 апреля 2023 г. оценивается в более чем 0.60 км<sup>3</sup>.

Значительные последствия этого извержения наблюдались непосредственно в пос. Ключи (рис. 8). Вся территория была покрыта пеплом. От мощной дополнительной нагрузки



Рис. 8. Поселок Ключи после извержения 11 апреля 2023 г. Вид с востока. Фото Ю.В. Демянчука.

были повреждены крыши многих домов. Время извержения вулкана совпало с началом весеннего таяния снега. От обильного количества талой воды пепловый покров превратился в суспензию, похожую на жидкий раствор цемента. С наступлением летнего сезона пепловые отложения стали просыхать, после чего в атмосфере образовывались смерчи из мелких частиц пепла. В такие дни выходить из помещений было невозможно.

После извержения произошла задержка таяния снега в окрестностях пос. Ключи и, как следствие, задержка появления растительности. В результате многолетних наблюдений установлено, что в последующие годы после крупных или серии извержений вулканов средняя температура воздуха у поверхности земли уменьшается на  $0.3\text{--}0.5^\circ\text{C}$  [Будыко, 1985]. Мощные вулканические выбросы показывают понижение средней температуры суши, а также резкое уменьшение температурных контрастов. Так, при извержении вулкана Сент-Хеленс в мае 1980 г. при прохождении вулканического аэрозоля над территорией США дневная температура понизилась на  $8^\circ\text{C}$ , и настолько же повысилась температура ночью [Mass, Robock, 1982].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С августа 1980 г. на вулкане Шивелуч почти непрерывно происходил процесс формирования экструзивного купола. Это самый продолжительный цикл образования лавовых куполов, наблюдаемых на вулкане. До настоящего времени на этом вулкане не были известны эруптивные циклы такой продолжительности. Статистика катастрофических извержений для вулкана мала. Точно документированные сведения о таких извержениях известны только с 1793 г. В то же время, оценки вероятного времени последующих извержений на основе определения объемов продуктов извержений с учетом среднегодового расхода дают возможность выполнить такой прогноз. По объему извергнутых продуктов (более  $0.60\text{ км}^3$ ) извержение вулкана Шивелуч 11 апреля 2023 г. можно отнести к крупнейшим катастрофическим извержениям этого столетия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Будыко М.И. Аэрозольные климатические катастрофы // Природа. 1985. № 6. С. 30–38.

- Действующие вулканы Камчатки. Т. 1 / Отв. ред. С.А. Федотов, Ю.П. Масуренков. М.: Наука, 1991. 309 с.
- Жаринов Н.А., Богоявленская Г.Е., Хубуная С.А. и др. Новый эруптивный цикл вулкана Шивелуч – 1980–1993 гг. // Вулканология и сейсмология. 1995. № 1. С. 20–28.
- Жаринов Н.А., Демянчук Ю.В. Крупные эксплозивные извержения вулкана Шивелуч (Камчатка) с частичным разрушением экстрезивного купола 28 февраля 2005 г. и 27 октября 2010 г. // Вулканология и сейсмология. 2013. № 2. С. 1–15.
- Жаринов Н.А., Демянчук Ю.В., Борисов И.А. О продолжении нового эруптивного цикла вулкана Шивелуч в 2001–2021 г., Камчатка // Вулканология и сейсмология. 2022. № 2. С. 1–9.
- Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Кирсанова Т.П. и др. 300 лет жизни камчатских вулканов: Молодой Шивелуч (анализ динамики и последствий эруптивной деятельности в XVII–XX вв.). Часть I. 1650–1964 гг. // Вулканология и сейсмология. 2003. № 5. С. 3–19.
- Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Кирсанова Т.П. и др. 300 лет жизни камчатских вулканов: Молодой Шивелуч (анализ динамики и последствий эруптивной активности в XVII–XX вв.). Часть II. 1963–2000 гг. // Вулканология и сейсмология. 2004. № 1. С. 5–24.
- Пийн Б.И., Мархинин Е.К. Гигантское извержение вулкана Шивелуч 12 ноября 1964 г. // Бюлл. вулканол. станций. 1965. № 39. С. 62–66.
- Федотов С.А., Жаринов Н.А., Двигало В.Н. и др. Эруптивный цикл вулкана Шивелуч в 2001–2004 гг. // Вулканология и сейсмология. 2004. № 6. С. 3–14.
- Хубуная С.А., Жаринов Н.А., Муравьев Я.Д. и др. Извержение вулкана Шивелуч в 1993 г. // Вулканология и сейсмология. 1995. № 1. С. 3–19.
- Широков В.А. Оценка массы и объема тефры при вулканических извержениях // Вулканология и сейсмология. 1985. № 5. С. 24–33.
- Mass C., Robock A. The term influence of the Mount St. Helens volcanic eruption on surface temperature in the north-west United States // Mon. Weather Rev. 1982. V. 110. P. 614–622.

## The April 11, 2023 Catastrophic Explosive Eruption of Sheveluch Volcano (Kamchatka)

N. A. Zharinov<sup>1</sup>, \*, Yu. V. Demyanchuk<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Volcanology and Seismology, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, bulvar Piipa, 9, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006 Russia*

*\*e-mail: nzhar@ksnet.ru*

The paper presents the data on the April 11, 2023 Sheveluch Volcano eruption. We conducted post-eruption impact assessment. The directed blast resulted in the collapse of the lava dome which had been forming for more than 42 years. The data obtained just before the eruption evidence that the total volume of the lava dome comprised about 0.53 km<sup>3</sup>. The volcanic explosion resulted in the formation of the field of pyroclastic deposits ~70 km<sup>2</sup> in size and 0.49 km<sup>3</sup> in volume. The directed blast was accompanied by the 25–30 km long pyroclastic flows and the ashfall more than 200 km away from the volcano. The weight of the ash deposits samples was ranging from 1.2 to 43.9 kg/m<sup>2</sup>, depending on the distance from the volcano. The area of ash deposits (ash samples of more than 50 g/m<sup>2</sup> in weight) covered the area of 17000 m<sup>2</sup> and comprised the volume of 0.09 km<sup>3</sup>. Taking into account the total volume of erupted products (0.6 km<sup>3</sup>), the April 11, 2023 Sheveluch Volcano eruption can be referred to the largest catastrophic eruption of this century.

**Keywords:** Shiveluch Volcano, explosive eruption, directed blast