

Подводное извержение 1996 года в Карымском кальдерном озере: динамика, отложения, механизм

Белоусов А.Б., Белоусова М.Г.

The 1996 underwater eruption in the Karymskoye caldera lake: dynamics, deposits, mechanism

Belousov A.B., Belousova M.G.

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;
e-mail: belousov@mail.ru*

Извержение 1996 года в Карымском озере продолжалось менее одного дня, но оказало катастрофическое воздействие на экологию озера и привело к образованию разнообразных вулканокластических отложений. Цель этого сообщения – представить обзор динамики извержения, его отложений и процессов их образования.

Введение

Карымское озеро расположено в 116 км севернее г. Петропавловск-Камчатский. Озеро сформировано во впадине кальдеры Академия Наук возрастом около 50 тысяч лет [6] и имеет диаметр 3.5 км, максимальную глубину 65 м и содержит 0.5 км³ пресной воды. Поверхность озера находится на высоте 617 м над уровнем моря. Крутые склоны берегов озера (борта кальдеры) заросли ольховым стлаником с небольшой примесью кедрача и каменной березы. В озеро впадают несколько холодных ручьев и ручьев, берущих начало из горячих источников. На севере из озера вытекает р. Карымская.

Данные наблюдений извержения 1996 года

1 января 1996 года в 21 час 57 минут произошло сильное землетрясение, за которым последовал интенсивный сейсмический рой [4, 5]. Вскоре после этого начались два сильных эксплозивных извержения: одно – из вершинного кратера Карымского стратовулкана, а второе – в 6 км южнее, на дне Карымского кальдерного озера [7]. По наблюдениям пилотов рейсовых самолетов и вертолетов, извержение Карымского стратовулкана началось раньше, чем в озере: вероятно, утром 2 января. В течение первого дня извержения пепловое облако поднималось над кратером Карымского стратовулкана на высоту 200-500 м (абсолютную высоту 1700-2000 м) и сносилось ветром на юго-восток.

Непродолжительное и мощное подводное извержение в Карымском озере началось через несколько часов после начала извержения Карымского стратовулкана, примерно в 13 часов местного времени. Уникальные наблюдения эруптивных процессов во время извержения в озере были сделаны вулканологами во время облета на вертолете с 15 час 20 мин до 16 час 20 мин местного времени [7]. Ко времени облета лед на озере уже растаял, и извержение суртсейского типа происходило из подводного жерла в 400 м от северного берега озера. Начальная глубина воды в этом месте составляла 40-50 м.

Извержение состояло из периодических выбросов газо-водно-пирокластической смеси. Во время облета были зафиксированы 6 выбросов с интервалами 4-12 мин (в среднем 6 мин); в промежутки времени между взрывами вода в месте извержения сильно плескалась, бурлила и парила. Анализ видеосъемки самого сильного взрыва, сделанной В. Бахтияровым во время облета, позволил определить скорости выброса и распространения пирокластического материала (рисунок). Этот подводный выброс развивался следующим образом:

1. В начальный момент образовалось быстро поднимающееся вздутие поверхности воды озера (выталкиваемой расширяющимися газами и пирокластическим материалом). В течение нескольких секунд вздутие поднялось до высоты 450 м над поверхностью озера.

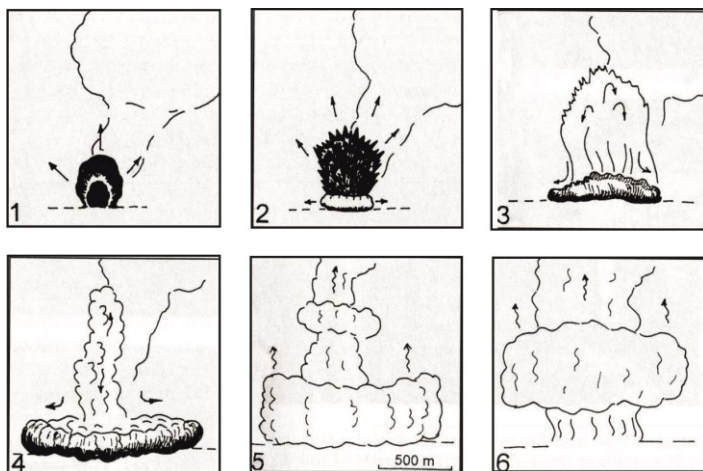


Рисунок. Процесс развития одного из подводных выбросов суртсейского типа 2 января 1996 г. в Карымском кальдерном озере по данным видеосъемки [8].

2. Внезапно оболочка вздутия прорвалась многочисленными радиальными черными струями смеси пирокластического материала, пара и воды – выброс типа «петушиного хвоста» [11]. Угол выброса струй составлял от 40 до 90° от поверхности воды. Начальная скорость выброса струй составляла 110 м/с. Одновременно светло-серое радиально симметричное поднятие поверхности воды (бор вулканического цунами?) высотой до 130 м появилось вокруг эпицентра взрыва и стало распространяться с горизонтальной скоростью 20-40 м/с.

3. В течение примерно 15 с от начала взрыва и через 7 с после того, как оболочка вздутия прорвалась струями, струи достигли максимальной высоты около 1 км над озером, резко приобрели белый цвет в результате конденсации водяного пара, а затем обрушились назад в озеро, образовав кольцевую базисную пирокластическую волну, распространявшуюся радиально от основания эруптивной колонны с максимальной скоростью около 20 м/с.

4. За 48 с от начала образования, базисная пирокластическая волна прошла 600 м вдоль поверхности озера со средней скоростью 12.5 м/с.

5. На конечном этапе своего движения облако базисной волны сильно расширилось, потеряв почти весь содержавшийся в ней пирокластический материал, стало легче окружающего воздуха и начало всплывать вертикально вверх.

6. Вскоре облако базисной волны оторвалось от поверхности воды озера и конвективно всплыло в атмосфере. Потерявшее большую часть пирокластики, белое эруптивное облако выброса поднялось над местом извержения до высоты около 3 км и было медленно снесено ветром на ЮВ, где из него выпало незначительное количество мелкого пепла.

Другие наблюдавшиеся подводные взрывы были заметно слабее. Большая их часть состояла из одиночного вертикального выброса смеси газо-водно-пирокластического материала черного цвета (выброс типа «кипарис» [11]). Колонна оседала назад в озеро, образуя относительно небольшие базисные пирокластические волны. Концентрические волны цунами распространялись по поверхности озера вокруг места извержения [2].

Подводные взрывы нагнетали воду озера в каньон истока р. Карымская, формируя пульсирующие лахары с расходом до 500 м³/с [7]. В 4 км вниз по течению, в месте, где река вытекает из первого глубокого каньона, образовалось временное озеро, так как следующий каньон реки был неспособен быстро пропустить весь материал лахаров.

Ко времени следующего облета (к 11 час утра местного времени 3 января) извержение в Карымском озере закончилось. Точное время конца извержения неизвестно, так как сейсмограммы и барограммы извержения были забиты сигналами от одновременного вершинного извержения Карымского стратовулкана.

Продолжительность извержения в озере составила 10-20 час. Оценивая средний интервал между подводными взрывами в озере как 6 мин, можно предположить, что извержение состояло из 100-200 подводных взрывов суртсейского типа.

К концу извержения выброшенная пирокластика образовала новый полуостров в северной части озера и подпрудила исток р. Карымская, вызвав подъем уровня воды в озере на 2.6 м. РН воды в озере достигло 3.2, а температура воды поднялась до 28° С [10]). 15 мая пирокластическая дамба была прорвана и быстро эродирована, уровень Карымского озера упал, и на месте подводного извержения из воды выступило туфовое кольцо с полузатопленным кратером диаметром 650 м и глубиной 60 м, сформированное подводным извержением.

Диаметр основания образовавшегося туфового кольца составляет около 1.5 км при относительной высоте постройки 40-50 м. Дно кратера лежит близко к доэруптивной поверхности. Отношение высоты постройки к диаметру его основания равно 0.3, что является характерным для туфовых колец. Объем пирокластики образовавшейся постройки составляет около 0.047 км³ [8]. Похожая оценка (0.04 км³) получена при расчете изменения объема воды в озере во время извержения [7]. Общий объем изверженной базальтовой магмы составил около 0.05 км³ при среднем расходе 10⁶ кг/с. Туфовое кольцо получило наименование «Кратер Токарева» в честь выдающегося сейсмолога Института вулканологии П.И. Токарева, который много лет изучал Карымский вулкан.

Отложения туфового кольца представлены темно-серой среднеслоистой (5-50 см) пачкой базальтовой пирокластики песчано-гравийной размерности. Залегание слоев практически субгоризонтальное, контакты между слоями четкие, выдержанные по простиранию. Для отложений характерно очень малое содержание тонкообломочных фракций. Частицы гравийной размерности в отложениях заметно окатаны (округлены), вероятно, в результате процесса рециклинга – многократного переотложения в процессе извержения, с вовлечением в выбросы ранее изверженного материала. Степень вспенивания частиц базальта составляет 7-63 % (среднее значение 34 %). Этот диапазон значительно шире, а степень вспенивания меньше, чем у продуктов стромболианских извержений, и свидетельствует о закалке вспенивающейся магмы при контакте с водой (прерванное вспенивание) [8].

Воздействие базисных пирокластических волн и их отложения

Образованные подводными взрывами базисные пирокластические волны, заплескивали на северный борт кальдеры с уклоном до 40° и высотой до 150 м. На крутом участке склона слой почвы толщиной более 1.5 м был полностью эродирован, и обнажились древние пирокластические отложения. На пологих участках склона, в 1-1.3 км от эпицентра взрывов, пирокластические волны сильно повредили заросли кустарника: тонкие ветви были сломаны и унесены, а с толстых ветвей со стороны, обращенной к кратеру, была содрана кора. Признаков обугливания древесины кустарника нигде не отмечено, только некоторые ветви приобрели коричневый оттенок. На этом основании температуру базисной волны можно оценить в 200 °С [8].

Петрография продуктов была детально изучена Е.Н. Гриб [3]. Более 95 % изверженного материала представлены ювенильным базальтом известково-щелочного ряда (52-53 % SiO₂). Небольшое количество белого пемзовидного риолита, который образует или небольшие включения в ювенильном базальте, или редкие вулканические бомбы, интерпретируется нами как резургентный материал. Мы считаем, что это материал древних пирокластических отложений, содержащих обсидиан, который был переплавлен и захвачен поднимающейся базальтовой магмой со стенок питающей трещины извержения. Обломки обсидиана того же состава, что и риолитовые бомбы, обычны в позднеплейстоценовых пирокластических отложениях, связанных с образованием кальдеры Академии Наук [1]. Наши эксперименты с нагреванием этого

обсидиана показали, что при температуре 850 °С он плавится и сильно вспенивается. Образующийся в результате вспученный перлит визуально не отличим от материала риолитовых бомб, выброшенных извержением 1996 г.

Крупные (до 3 м) блоки зеленовато-серой гидротермально-измененной брекчии преобладают среди баллистических обломков, выброшенных начальными взрывами извержения. Они представляют собой тектоническую брекчию разлома ССВ простирания, вдоль которого происходило внедрение базальтовой питающей дайки извержения [8].

Заключение

Извержение в Карымском озере наглядно демонстрирует, какое влияние оказывает даже небольшой слой воды над жерлом на характер базальтового эксплозивного извержения. Если бы извержение 1996 г. происходило в сухой обстановке, то, учитывая величину расхода и газонасыщенность базальтовой магмы, произошло бы обычное стромболианское извержение с формированием шлакового конуса, как при побочных извержениях вулкана Толбачик 1975-76 гг. и 2012-13 гг. [9]. Присутствие нескольких десятков метров воды над жерлом сильно изменило характер извержения 1996 г. Вместо образования высокой эруптивной колонны, выброшенный материал с большим содержанием пара, воды и пирокластики периодически коллапсировал обратно в озеро. В этой ситуации более 90 % всех пирокластических продуктов извержения было отложено из водонасыщенных базисных пирокластических волн, распространявшихся радиально от центра извержения.

Работа выполнена по Государственному заданию FWME-2024-0008 на 2024-2028 гг. (регистрационный номер 124031400008-3).

Список литературы

1. Белоусов А.Б. Голоценовые извержения в кальдере Академии Наук и возраст стратовулкана Карымский (Камчатка) // Доклады РАН. Серия геологическая. 1997. Т. 354(5). С. 648-652.
2. Белоусов А., Белоусова М. Вулканические цунами: от Кракатау до Карымского // Природа. 2011. № 6. С. 26-34.
3. Гриб Е.Н., Леонов В.Л., Перепелов А.Б. Геохимия вулканических пород Карымского вулканического центра // Вулканология и сейсмология. 2009. № 6. С. 3-25.
4. Левина В.И., Иванова Е.И., Гордеев Е.И. и др. Карымское землетрясение 1 января 1996 года (MS= 7.0) // Землетрясения Северной Евразии в 1996 году. 2002. С. 129-137.
5. Магуськин М.А., Федотов С.А., Левин В.Е., Бахтияров В.Ф. Деформации, связанные с сильным (M=6.9) землетрясением, прорывом магм и извержениями в Карымском вулканическом центре в 1996-2005 гг. // Вулканология и сейсмология. 2008. № 5. С. 22-40.
6. Масуренков Ю.П. Вулканический центр: строение, динамика, вещество (Карымская структура). Москва: Наука. 1980. 300 с.
7. Федотов С.А., Муравьев Я.Д., Иванов В.В. и др. Извержения в кальдере Академии Наук и Карымского вулкана в 1996-1997 гг. и их воздействие на окружающую среду / Глобальные изменения природной среды / Отв. ред. Добрецов Н.Л., Коваленко В.И. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 1998. С. 127-145.
8. Belousov A., Belousova M. Eruptive process, effects and deposits of the 1996 and ancient basaltic phreatomagmatic eruptions in Karymskoye lake, Kamchatka, Russia // Lacustrine Volcanoclastic Sedimentation. IAS Special Volume. 2001. V. 30. P. 235-260.
9. Belousov A., Belousova M., Volynets A. et al. Overview of the precursors and dynamics of the 2012–13 basaltic fissure eruption of Tolbachik Volcano, Kamchatka, Russia // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2015. V. 307. P. 22-37.
10. Fazlullin S.M., Ushakov S.V., Shuvalov R.A. et al. The 1996 subaqueous eruption at Academii Nauk volcano (Kamchatka) and its effects on Karymsky lake // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2000. V. 91. P. 181-193.
11. Thorarinsson S. Surtsey: the New Island in the North Atlantic. Reykjavik: Almenna Bokafelagid, 1964. 63 p.