

## Прошлые суперизвержения вулканов мира и возможное мегаизвержение Йеллоустона в Северной Америке

Кирьянов В.Ю.<sup>1</sup>, Карпов Г.А.<sup>2</sup>

### Past super-eruptions of the worldwide volcanoes and possible mega-eruption of Yellowstone volcano in North America

Kiryanov V.Yu., Karpov G.A.

<sup>1</sup> «ООО АЛСИ НОРД», г. Санкт-Петербург;

e-mail: kiryanov@mail.ru

<sup>2</sup> Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Извержения супервулканов (мегаизвержения) происходят не чаще одного раза в 20-70 тысяч лет, но каждое из них оставляет значительный след в истории Земли. Мощность и продолжительность подобных извержений может варьировать, однако объем изверженных продуктов достаточен, чтобы радикально изменить ландшафт и значительно повлиять на глобальный климат планеты, вызывая катастрофические последствия для жизни.

К супервулканам принято относить те вулканы, которые в доисторическое время извергали более 1000 км<sup>3</sup> вулканического материала. Это значительно больше, чем извергают вулканы в настоящее время.

Считается, что супервулканы образуются в случае, когда магма десятки-сотни тысячелетий не имеет свободного выхода на поверхность Земли. За счет этого формируется супербольшой магматический очаг с напряжениями, которые уже невозможно сдерживать вышележащим слоям Земной коры.

Подобные условия создаются над «горячими точками» Земли (пример – кальдера-вулкан Йеллоустон) или на конвергентных границах плит (например, вулкан Тоба). Супервулканы характеризуются отсутствием конусообразных вершин.

После извержения с индексом вулканической эксплозивности VEI=6-7, при объемах выбросов уже с первых сотен кубических километров, вследствие попадания вулканического пепла и пыли в атмосферу и отражения от них солнечных лучей, может наступить относительно краткосрочное похолодание планетарного масштаба, чему есть недавние исторические свидетельства. В отличие от «современных» катастрофических извержений вулканов, с объемом выброшенного материала от 1 до 100 км<sup>3</sup>, кратковременные по времени извержения супервулканов могут вызвать более серьезные и длительные климатические последствия.

Приведем примеры таких суперизвержений:

1. Порядка 26 500 лет назад – извержение супервулкана Таупо, Северный остров, Новая Зеландия. Объем изверженной тefры составил примерно 1170 км<sup>3</sup>.

2. Около 74 000 лет назад – извержение супервулкана Тоба (Индонезия). Объем выброшенной породы составил порядка 2800 км<sup>3</sup>.

3. Около 640 000 лет назад – извержение Йеллоустоунской кальдеры (Лава Крик Туф, штат Вайоминг, США). Извергнуто около 1000 км<sup>3</sup> породы.

Произошедшее 26 500 лет назад извержение Таупо, известное как извержение Оруануи, стало крупнейшим вулканическим извержением в мире за последние 70 000 лет и было оценено в 8 баллов по шкале VEI. Извержение сформировало кальдеру размерами 33×46 км [8, 12]. После этого вулкан Таупо извергался еще 28 раз. Последнее значительное извержение произошло около 180 года н.э. Оно стало одним из самых сильных на планете за последние пять тысяч лет. Эта катастрофа уничтожила жизнь на половине Северного острова, покрыв пеплом территорию в 16 000 км<sup>2</sup>. Римские и китайские исторические источники донесли до нас сведения о «красном небе» в год извержения. Это значит, что в атмосферу попало очень много вулканического аэрозоля.

Извержение вулкана Тоба (Событие Тоба) произошло примерно 69 000-77 000 лет назад. Оно достигало 8 баллов по шкале VEI и, скорее всего, стало самым

мощным на Земле за последние миллионы лет. Извержение стало последним из серии, состоящей, по крайней мере, из трех эпизодов извержений вулкана Тоба, которые начали формировать современную кальдеру размером 100×30 км в районе 700 000-840 000 лет назад. Как полагают ученые, объем выпавшего пепла был настолько велик, что вся Южная Азия оказалась покрыта его 15-сантиметровым слоем. На территории современной Индии толщина выпавшего пепла местами достигала шести метров, а отдельные районы Малайзии были покрыты девятиметровым слоем вулканических выбросов. Кроме того, по разным подсчетам, в результате извержения в атмосферу было выброшено до 10 миллиардов тонн серной кислоты или 6 миллиардов тонн диоксида серы; это вызвало выпадение кислотных дождей.

Хотя невозможно точно установить год, когда произошло это извержение, ученым удалось узнать время года: только летний муссон может отнести пепловые облака в Южно-Китайское море, то есть извержение, скорее всего, произошло летом и продолжалось около двух недель. Оно привело к понижению средней глобальной температуры на 3-3.5 °С в течение нескольких лет. Ледовые керны Гренландии зафиксировали резкое снижение уровня органического поглощения углерода. Очень немногие растения и животные в Юго-Восточной Азии смогли выжить в результате извержения, и не исключено, что оно вызвало массовое вымирание по всей планете [4, 9, 10]. По данным антропологов, именно в эту эпоху наступил демографический кризис, когда на Земле осталось не более 10 000 людей. После этого гигантского извержения сформировавшаяся кальдера Тоба заполнилась водой, что привело к образованию озера Тоба. Остров в центре озера является возрождающимся вулканическим куполом [1-3].

Небольшие извержения кальдеры Тоба происходили и после основного извержения. В южной части кальдеры сформировался небольшой вулкан Пусубукит, отличающийся фумарольной активностью. После землетрясения 2004 г. в Индийском океане, спутники системы GRACE зафиксировали небольшое изменение формы Земли и сдвиг острова Суматра на расстояние в несколько десятков метров. Таким образом, сильная локальная сейсмическая активность инициирует увеличение магматической деятельности кальдеры, что может привести к новому грандиозному извержению.

В настоящее время опасность для цивилизации исходит, в первую очередь, от Йеллоустоунской кальдеры, в которой расположен одноименный национальный парк, на северо-западе США. Размер кальдеры Йеллоустоун – около 55×72 км, был определен в 1960-70-х гг. геологическими исследованиями Боба Кристиансена из Геологической Службы США. Разглядеть кальдеру таких размеров можно лишь со спутника. Йеллоустоунский вулкан располагается не на границе тектонических плит (как вулкан Тоба), а посередине Североамериканской плиты, над практически не изученной «горячей точкой». В настоящее время Йеллоустонская горячая точка перекрыта Йеллоустоунским плато. Североамериканская плита движется в направлении запад-юго-запад над неподвижным «дном» горячей точки. За последние примерно 17 миллионов лет из Йеллоустоунской горячей точки произошло более 140 извержений, формировавших кальдеру. Как минимум около десятка таких извержений классифицируются как суперизвержения [5-7].

Профессоры Роберт Смит и Майкл Жданов из Университета Юты, проследив за распространением сейсмических волн от недавних мощных землетрясений, определили, что магматический очаг Йеллоустона тянется на 240 км в одну сторону и почти на 700 км – в другую. Измерив электрическую проводимость недр, ученые уточнили трехмерную картину. Оказалось, что магма уходит в глубину не столь круто, как предполагалось ранее: под углом менее 40 градусов, а не 60. Верхняя зона этого слоя, имеющего общую толщину более 100 километров, располагается довольно близко к поверхности.

В настоящее время тепловой поток в Йеллоустоунской кальдере в 30-40 раз превышает таковой на остальной территории США, и, по всей видимости, если бы не было подпитки магмой, вся система начала бы остывать со времени последнего извержения, а этого не происходит. С 1923 по 1984 гг. центральная часть кальдеры приподнялась на 86 см (со средней скоростью 23 мм в год). С 1985 по 1995 гг. эта скорость уменьшилась до 14 мм/год, затем до 5-9 мм/год. С 2004 по 2007 гг. она вновь возросла до 60 мм/год.

Тысячи слабых землетрясений регистрируются в Йеллоустоуне ежегодно. Глубина их гипоцентров составляет 15-20 км за пределами кальдеры и 3-5 км – внутри кальдеры. В 1959 г. произошло крупнейшее в западной континентальной части США землетрясение с магнитудой 7.5, а в 1975 г. – еще одно с магнитудой 6.1. С 1989 г. по настоящее время в пределах кальдеры регистрируются землетрясения с магнитудами до 2.7, причем в январе 2010 г. было зарегистрировано 250 землетрясений всего за два дня. 22 августа 2018 г. в северном секторе кальдеры внезапно ожил гейзер «Steamboat», не извергавшийся более трех лет.

Для того чтобы распознать предвестники извержения Йеллоустона, уже давно проявляющего признаки активизации, в 2001 г. Геологическая служба США создала на базе сотрудников Йеллоустоунского парка и Университета штата Юта, Йеллоустоунскую вулканологическую обсерваторию (YVO), которая разработала 40-летнюю программу геологического мониторинга, включающего: анализ грунтовых вод, сейсмический, деформационный и GPS мониторинг. Вопросы два:

1. Возможно ли вообще в Йеллоустоуне суперизвержение?
2. Когда произойдет следующее катастрофическое извержение Йеллоустона?

Геологи отталкиваются от эмпирического правила, основанного на статистических оценках: чем длиннее период покоя вулкана, тем более мощным может быть его извержение. Поскольку Йеллоустоунский вулкан извергался с определенной периодичностью: 2.1 млн лет назад, 1.2 млн лет назад и 640 000 лет назад, то Геологическая служба США ожидает следующее извержение не ранее чем через 40-70 тыс. лет. Но в 1999 г. британский геолог, профессор Мак-Гир подготовил для правительства Великобритании специальный доклад, в котором заявил, что, по его расчетам, Йеллоустоун взорвется в 2074 году. По одному из сценариев компьютерного моделирования извержение ожидалось до 2016 года.

Специалисты озабочены возможностью активизации супервулкана, которая может привести к грандиозным разрушительным последствиям для всего Североамериканского континента.

Предлагается примерный сценарий извержения. За несколько дней до взрыва земная кора поднимется над вулканом на несколько десятков метров. По периметру супервулкана возникнут многочисленные кольцевые трещины и жерла. Затем произойдет выброс огромного количества магмы и вулканического пепла, который поднимется на высоту до 50 км. По подсчетам геологов, этого хватит, чтобы покрыть всю территорию США слоем порядка 15 см. Реальная толщина пеплового слоя будет уменьшаться по мере удаления от центра извержения и, например, в районе столицы США г. Вашингтон составит всего 1-3 см.

В первые часы разрушению будет подвергнута площадь в радиусе 1000 км. По территории 10 000 км<sup>2</sup> пройдет пирокластическая волна.

По худшему из возможных сценариев, 100-километровая зона вокруг кальдеры будет выжжена пирокластическими потоками в течение нескольких минут. Миллионы тонн вулканической породы, поднятой взрывом на десятки километров, начнут оседать на колоссальной площади, убивая все живое. Там, где толщина слоя выпавшего пепла составит более 30 сантиметров, в случае дождя и увлажнения пепла, у 90 % зданий произойдет обрушение кровли.

Пепел толщиной 5-10 см покрывает основные пахотные земли и луга, на которых ничего нельзя будет выращивать несколько десятков лет. Даже там, где слой пепла будет незначительным (1-2 сантиметра), этого будет достаточно, чтобы закрыть аэропорты. Поэтому можно предположить транспортный коллапс и полную потерю авиасообщения [2].

По расчетам нейросуперкомпьютера «HAZUS-4», от вулканического пепла могут погибнуть около полумиллиона человек. На то, чтобы пересечь Атлантику, пепловой туче потребуется менее недели, и постепенно пепел закроет Солнце по всему Северному полушарию [11].

При извержении будет выбрасываться диоксид серы, который образует аэрозоли серной кислоты в стратосфере. Эти аэрозоли образуют завесу, которая будет отражать солнечный свет, и от этого температура на Земле понизится в среднем на 3-5 градусов. Через три недели после начала Йеллоустоунского извержения аэрозоли образуют над земной поверхностью экран, который может стать причиной глобального похолодания. То есть большая часть планеты будет покрыта снегом почти круглый год. И так минимум 3-4 года. Впрочем, по данным Геологической службы США, содержание серы в магме под Йеллоустоуном гораздо ниже, чем при извержениях вулканов Эль Чичон в 1984 г. и Пинатубо в 1991 г., поэтому влияние извержения на климат может быть существенно слабее, чем в предлагаемом сценарии.

К настоящему времени технически возможного решения проблемы прогноза извержений супервулканов не существует. Предотвратить подобное извержение ни США, ни человечество в целом не в силах. По словам Дэна Дзурисина (Геологическая служба США), «история изменений Йеллоустона стала более запутанной ввиду появления лучших технологий для ее изучения».

«Пусть и очень редкие, но эти события неизбежны. В будущем люди непременно столкнутся с ними и должны будут справляться с последствиями суперизвержения» (Стивен Спаркс, веб-сайт «Live Science», 2005).

### Список литературы

1. Карпов Г.А., Кирьянов В.Ю. Вулканизм и цивилизация. Петропавловск-Камчатский: Новая книга, 2020. 375 с.
2. Карпов Г.А., Кирьянов В.Ю. Дремлющие драконы // Вокруг Света. 2023. № 3. С. 84-91.
3. Кирьянов В.Ю. Современный вулканизм. Санкт-Петербург: Литера Скрипта, 2009. 331 с.
4. Мелекесцев И.В. Вулканизм как возможная причина оледенения. В сб. Вулканы и извержения. М.: Наука, 1969. С. 140-149.
5. Савино Д., Джонс М.Д. Супервулкан. Катастрофа, изменившая мир. М.: Рипол Классик, 2009. 316 с.
6. Уолтхэм Т. Катастрофы: неистовая Земля. Л.: Недра, 1982. 223 с.
7. Britt R. Supervolcano will challenge civilization // Geologists Warn, Live Science. 2010
8. Froggatt P.C., Nelson C.S., Carter L. et al. An exceptionally large late Quaternary eruption from New Zealand // Nature. 1986. V. 319. P. 578-582.
9. Kirianov V.Yu. Environmental impacts of volcanic eruptions // Encyclopedia of Life Support Systems (EOLLS), Natural and Human Induced Hazards, 2003. 12 p.
10. Rampino M.R., Self S. Climate-volcanic feedback and the Toba eruption of 74 000 years ago // Quaternary Research. 1994. V. 40. № 3. P. 269-280. <https://doi.org/10.1006/qres.1993.1081>
11. Rampino M.R. Super-volcanism and other geophysical processes of catastrophic import. In: Global Catastrophic Risks. Eds.: N. Bostrom, M.M. Cirkovic. Oxford University Press, 2008. P. 205-221. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198570509.003.0015>
12. Wilson C.J.N. The 26.5 ka Oruanui Eruption, Taupo Volcano, New Zealand: Development, Characteristics and Evacuation of a Large Rhyolitic Magma Body // Journal of Petrology. 2006. V. 47. № 1. P. 35-69. <https://doi.org/10.1093/petrology/egi066>