

Причиной извержений СУПЕРВУЛКАНОВ оказалась обыкновенная ВОДА

Новосибирские ученые в сотрудничестве с коллегами из Франции и Саудовской Аравии на основе комплексного геофизического исследования глубинного строения под кальдерой Тоба на о-ве Суматра реконструировали механизмы процессов, приводящих к повторяющимся в этом районе суперизвержениям. Результаты этой работы опубликованы в престижном журнале *Nature Communications*

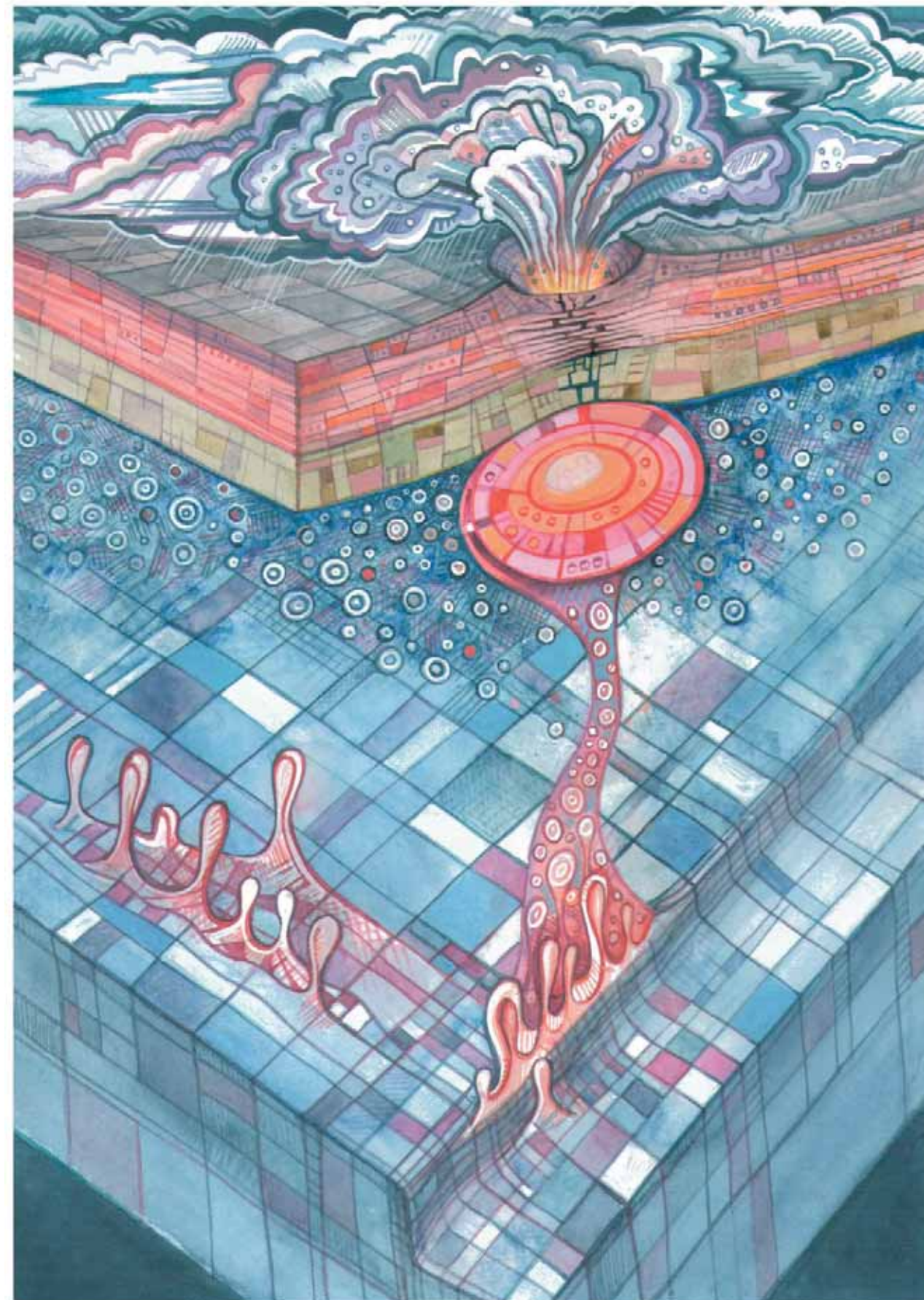


КУЛАКОВ Иван Юрьевич – доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией сейсмической томографии Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор более 70 научных работ

Основной причиной суперизвержений является накопление в недрах Земли воды, которая, как это ни парадоксально, является наиболее взрывоопасным веществом.
Рисунок И. Кулакова, бумага, акварель

Ключевые слова: супервулканы, Тоба, Суматра, Индонезия, сейсмическая модель, тектоника, субдукция, вулканизм, кальдера, строение коры, магматические очаги, суперизвержения.
Key Words: supervolcanoes, Toba, Sumatra, Indonesia, seismic model, tectonics, subduction, volcanism, caldera, crust structure, magma chambers, supereruptions

© И.Ю. Кулаков, 2016



Суперизвержение – это взрывное вулканическое извержение с единовременным выбросом пород общим объемом более 1000 км³ в условном твердом эквиваленте. В течение последнего миллиона лет на Земле функционировали три супервулкана: Йеллоустон в Северной Америке, Таупо в Новой Зеландии и Тоба на о-ве Суматра. Извержение вулкана Тоба примерно 74 тыс. лет назад, в результате которого было выброшено более 2800 км³ пород, считается самым мощным на Земле за последние несколько миллионов лет. В результате этого события образовалась огромная кальдера, заполненная восьмидесятикилометровым озером – самым крупным вулканическим озером на Земле. Удивительной особенностью этого места является то, что катастрофические извержения происходили здесь неоднократно, по крайней мере трижды за последний миллион лет.

Человеческая цивилизация за время своего существования ни разу не сталкивалась с суперизвержениями. Самое крупное извержение, зарегистрированное человеком, объем которого составил около 150 км³, произошло на вулкане Тамбора в Индонезии в 1815 г. Эта катастрофа привела к существенному понижению температуры во всем Северном полушарии и к десяткам тысячам жертв вследствие голода и эпидемий. Вместе с тем масштаб этого события несовместим с последствиями суперизвержений. Поскольку супервулканы несут потенциальную опасность для человечества, необходимо относиться очень внимательно к изучению процессов, происходящих в них, и отслеживать все аномалии в их деятельности.

Авторы работы построили детальную сейсмическую модель строения коры и мантии под кальдерой Тоба с использованием метода сейсмической томографии, разработанного в Новосибирске. С помощью этой модели удалось обнаружить несколько уровней магматических очагов под кальдерой и реконструировать механизм реализации повторяющихся суперизвержений.

Основной причиной суперизвержений является накопление в недрах Земли воды, которая, как это ни парадоксально, является наиболее взрывоопасным веществом. В районе кальдеры Тоба реализуется ме-

ханизм доставки большого количества воды в мантию с помощью крупной разломной зоны в плите Индийского океана, расположенной вдоль хребта Исследователей. Эта зона, которая четко выделяется на карте рельефа морского дна, разделяет два участка плиты с различным возрастом и является ослабленной частью литосферы, куда активно проникает океаническая вода. В зоне субдукции океаническая Индийская плита погружается в мантию под Суматру и затягивает с собой насыщенный водой хребет Исследователей. На глубине около 150 км, непосредственно под кальдерой Тоба, происходит выброс этой воды из погружающейся литосферной плиты.

После этого вода начинает просачиваться вверх через мантийный клин. По пути она видоизменяет породы мантии, делая их более легкоплавкими и менее плотными. В результате подъема этих пород под корой формируется огромный резервуар частично расплавленного мантийного вещества с высоким содержанием флюидов. В томографической модели этот очаг прослеживается как аномалия с пониженными сейсмическими скоростями размером около 50 000 км³. В проекции на поверхность кальдеры форма этой аномалии почти идеально совпадает с областью «вспучивания» земной поверхности вокруг кальдеры на высоту более одного километра.

Мантийные породы в этом резервуаре, несмотря на их сильную разогретость, остаются более тяжелыми, чем породы коры. Поэтому далее подниматься через кору они не могут. Другое дело – вода. После прохождения через мантийный клин ее температура может достигать 1300 °С, но вследствие большого давления она остается в жидком состоянии. Вода может спокойно продолжать мигрировать вверх через кору, являясь при этом чрезвычайно эффективным способом переноса тепла. Многочисленные землетрясения, регистрируемые в низах коры под Тобой, вероятно, являются отражением этого процесса. Миграция горячей воды приводит к разогреву и плавлению пород в верхней коре, в результате чего на глубинах между 7 и 15 км формируется еще один магматический очаг. Подробно структура этого очага обсуждалась в другой работе тех же авторов (Jaxybulatov *et al.*, 2014), ранее опубликованной в журнале *Science*.

Частично расплавленное вещество в верхнекоревом очаге оказывается насыщенным водой, по-прежнему находящейся в жидком состоянии. При достижении некоторого порогового значения часть воды из-за декомпрессии или слишком высокой температуры может преобразоваться в пар. Это существенно повышает давление, в результате чего могут образоваться новые трещины в коре, по которым устремится новая порция вскипающей воды. Этот лавинообразный процесс в итоге способен привести к взрыву огромного объема.

Такой механизм объясняет периодичность суперизвержений и их силу. Действительно, для того чтобы зарядить «бомбу замедленного действия», требуется накопление критического объема воды, которая должна прийти из мантии. Таким образом, суперизвержения в районе Тобы будут продолжаться до тех пор, пока происходит погружение под Суматру хребта Исследователей, привносящее в мантию аномальное количество воды. Вместе с тем, учитывая, что последнее извержение вулкана Тоба произошло только 74 тыс. лет назад, а интервалы между суперизвержениями составляют несколько сот тысяч лет, скорее всего, в ближайшей исторической перспективе катастрофическое извержение этого вулкана человечеству не грозит.

Работа поддержана грантом РФФ 14-17-00430



Литература
 Jaxybulatov K., Shapiro N. M., Koulakov I., et al. *Seismic anisotropy reveals a large magmatic sill complex below the Toba caldera* // *Science*. 2014. 6209; V. 346. P. 617–619. doi: 10.1126/science.1258582.

Koulakov I. Yu., Kasatkina E., Shapiro N. M. *The feeder system of the Toba supervolcano from the slab to the shallow reservoir* // *Nature Communications*. 2016. N 7. Article number: 12228 doi: 10.1038/ncomms12228

Томографическая модель в вертикальном сечении и ее интерпретация. Показаны аномалии скоростей поперечных волн: красные области – пониженные скорости (много воды и (или) высокая температура); синие – повышенные скорости (прочные холодные породы). Зеленые точки – землетрясения. Стрелки показывают пути миграции воды и расплавов. Вверху показан рельеф вдоль сечения, где GSFZ – пересечение с Великим Суматранским разломом

Схема, показывающая роль хребта Исследователей в инициации супервулканизма Тобы. Красный пунктир – разломная зона вдоль хребта Исследователей, по которой на глубине происходит разрыв плиты, облегчающий выход воды из литосферы. Под кальдерой Тоба показано томографическое сечение

В результате извержения супервулкана Тоба на севере центральной части острова Суматра в Индонезии образовалось озеро Тоба – самое крупное вулканическое озеро на Земле. На фото – озеро Тоба. © Creative Commons

