

И. Ю. КУЛАКОВ

«БОМБА» ПОД БЕЗЫМЯННЫМ



КУЛАКОВ Иван Юрьевич – член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, заместитель директора по научной работе и заведующий лабораторией сейсмической томографии Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор более 250 научных работ

В публикации использованы фото и рисунки автора

Ключевые слова: вулкан Безымянный, Камчатка, извержение, сейсмическая томография, землетрясения, магматический резервуар.

Key words: Bezymianny volcano, Kamchatka, eruption, seismic tomography, earthquake, magma reservoir

Безымянный – один из сотни вулканов на полуострове Камчатка. Вопреки своему имени, этот вулкан с прошлого века получил широкую известность среди вулканологов и геофизиков: проспав более тысячи лет, в 1956 г. Безымянный неожиданно разразился мощным взрывом, разрушившим купол и большую часть вулканического массива, и с тех пор продолжает регулярно извергаться, выбрасывая, помимо потоков лавы, кубические километры газа. С помощью методов сейсмической томографии сибирским ученым удалось «заглянуть» внутрь вулкана, чтобы реконструировать механизмы идущих там процессов и получить надежный инструмент прогнозирования вулканической активности

© И. Ю. Кулаков, 2021



производят фотосъемку каждые 15 минут, превращая полученные кадры в ускоренное видео.

Срок службы такой сейсмической станции рассчитан на один год, поэтому исследователи опасались, что вложенные усилия и средства могут не оправдаться. К счастью, 20 декабря 2017 г., спустя лишь три месяца после установки сейсмической сети, на вулкане случилось необычно сильное извержение. Всего за 15 минут облако пепла достигло высоты 15 км, а на поверхность был выброшен огромный объем вулканического материала. Несмотря на горячие обломки камней, лаву и пепел, большинство станций «выжило».

В результате извержения 1956 г. вулкан Безымянный стал ниже на четверть километра (слева). Акрил, бумага, рис. автора

Однако на сегодняшний день вулкан почти полностью «восстановил» свой купол (внизу). Фото 2018 г.

Безымянный находится всего лишь в 10 км от крупнейшего в Евразии действующего вулкана Ключевской (Ключевской Сопки) и долгое время считался его побочным ответвлением. В течение последней тысячи лет он не проявлял никакой активности, пока осенью 1955 г. не начал выбрасывать клубы газа и пепла.

Несколько месяцев вулкан извергался с умеренной силой, а 30 марта 1956 г. извержение достигло кульминации: произошел колоссальный направленный взрыв, и купол вулкана, представлявший собой правильной формы конус, был снесен, в результате чего его высота уменьшилась на 250 м. Из вулканических недр были выброшены мощные магматические и пирокластические потоки, состоящие из смеси высокотемпературных газов, пепла и обломков горных пород, а также облако газа и пепла, которое поднялось на высоту до 35 км (Gorshkov, 1959; Belousov, 1996).

С тех пор Безымянный извергается практически каждый год, хотя и не так драматично: в результате короткоживущих взрывов из вулкана выбрасывается лава, пирокластический материал, а также огромное количество пепла и газа (Girina, 2013).

Извержения идут нерегулярно: иногда Безымянный «замолкает» на два-три года, а потом извергается несколько раз в течение нескольких месяцев. На сегодня

Кульминация взрывного извержения вулкана Безымянный. 30 марта 1956 г. Акрил, бумага, рис. автора

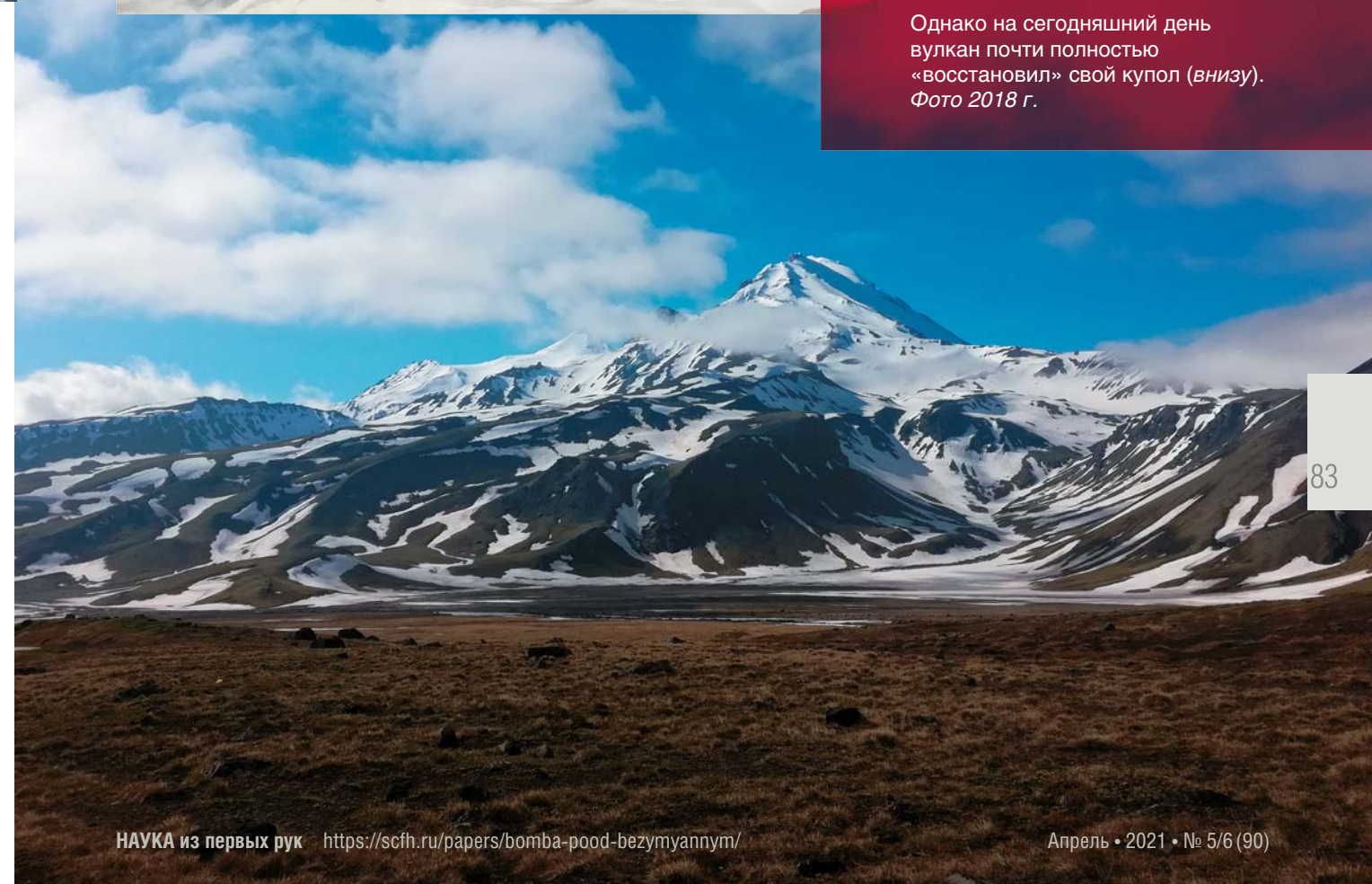
изверженного материала оказалось столько, что вулкан смог практически полностью «отстроить» новый купол, который уже почти заполнил кратер, образовавшийся после взрыва в 1956 г.

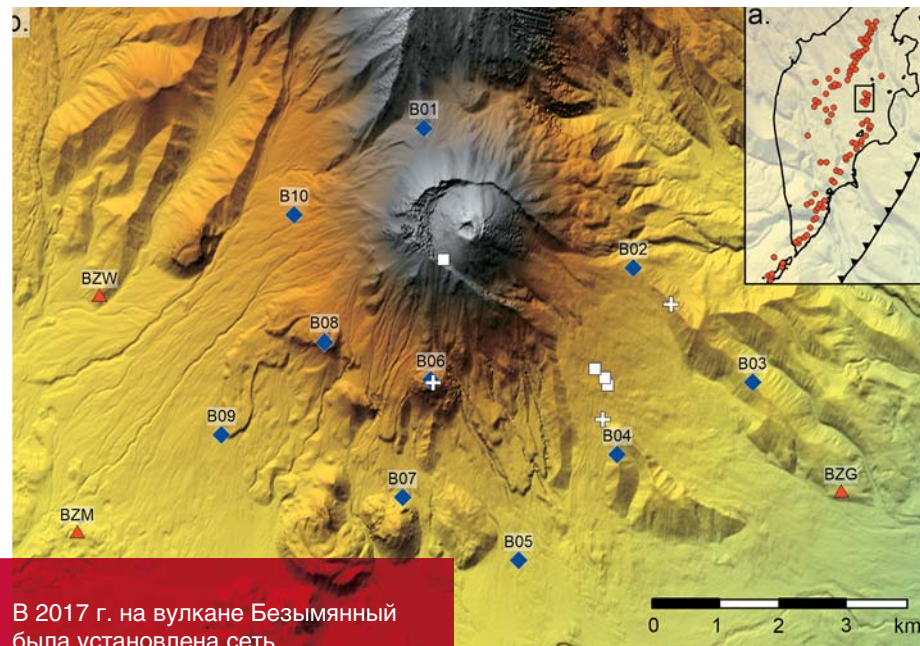
Слушать сейсмический пульс

Наблюдения за Безымянным показали, что, несмотря на близость к вулканам Камень и Ключевской, он имеет иной режим извержения и состав лав, а значит, и структура недр под ним совершенно другая.

В 2017 г. исследователи из лаборатории сейсмической томографии Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН (Новосибирск) совместно с немецкими коллегами из Потсдамского центра наук о Земле (GFZ) отправились в экспедицию на Камчатку с целью «засечь» землетрясения, предшествующие извержению Безымянного, построить томографическую модель земной коры под вулканом и определить его внутреннюю структуру.

Группа специалистов, прибывшая на Безымянный на вертолетах, установила на его склонах 10 сейсмических станций и несколько таймлапс-камер, которые





В 2017 г. на вулкане Безымянный была установлена сеть из 10 сейсмических станций, которые работали в течение нескольких месяцев до и после взрывного извержения, случившегося 20 декабря того же года

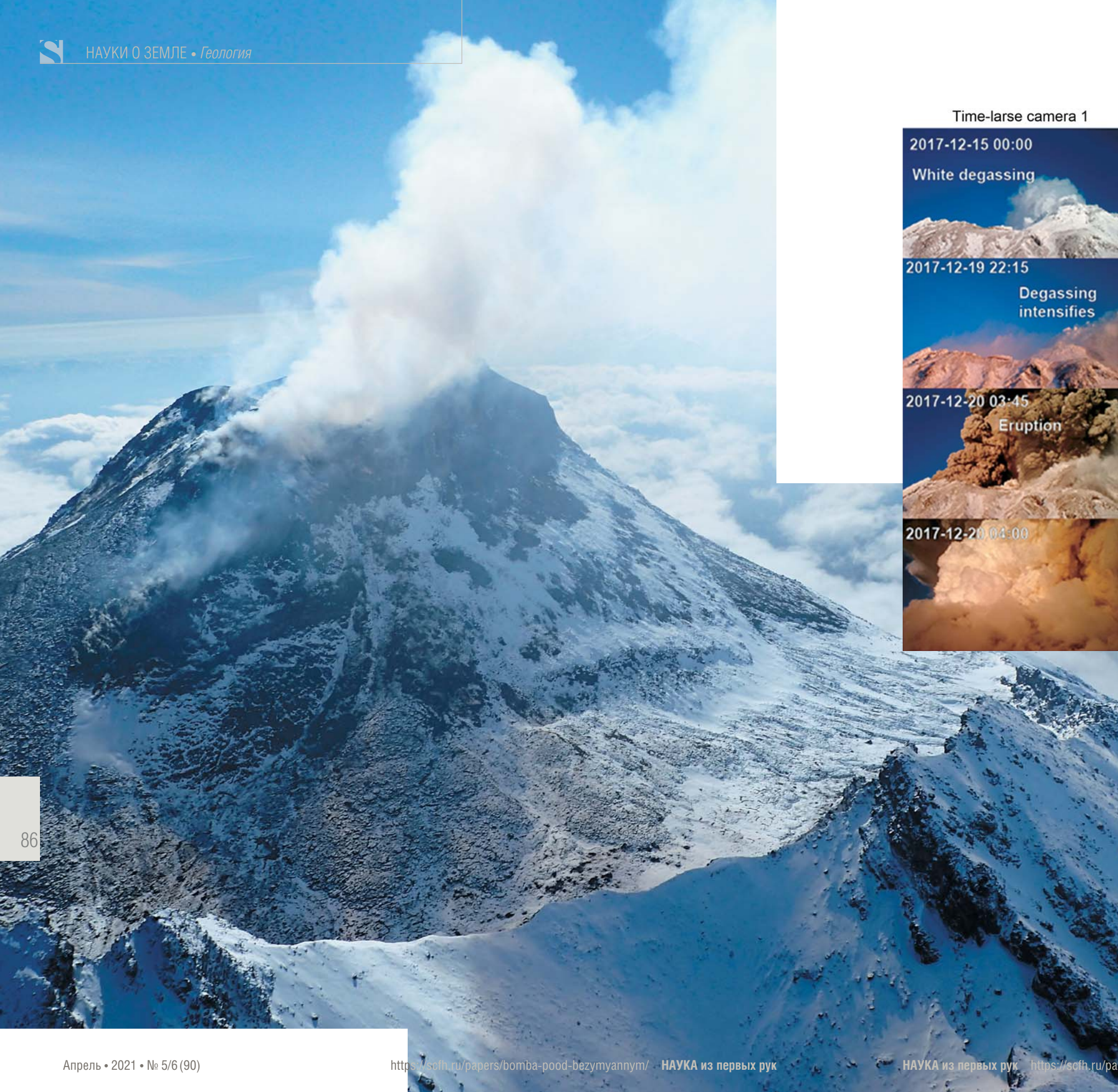
- ▲ – постоянные станции;
- ◆ – временные станции;
- ⊕ – таймлапс-камеры;
- – места сбора образцов материала пирокластических потоков для петрологических исследований

В течение трех месяцев перед извержением сейсмические станции зарегистрировали лишь несколько единичных событий, что говорит о довольно низкой фоновой сейсмической активности, и это отличает Безымянный от других вулканов. И только за 47 дней до взрыва был зарегистрирован кластер землетрясений на глубине около 8 км, а за 5 дней начало довольно сильно (70–300 землетрясений ежедневно) «трясти» верхнюю часть вулкана.

Проанализировав данные о сейсмической активности под Безымянным, специалисты ИНГГ СО РАН создали томографическую модель земной коры под действующим

на стр. 89





На фото с трех таймлапс-камер, установленных на склонах Безымянного, заснят процесс роста газовой активности, образование камнепада и, наконец, само взрывное извержение. На пике извержения камеры смогли зафиксировать лишь клубы пепла, так как оказались слишком близко к эпицентру извержения. © GFZ

В планы немецких геофизиков из GFZ входила космическая радарная съемка Безымянного, с помощью которой можно очень точно проследить деформацию поверхности. Спутниковая съемка, проводившаяся каждые 11 дней, показала, что непосредственно перед извержением смещение земной поверхности в районе купола составляло десятки метров, что было связано со «вспучиванием» вулкана и образованием разломов. За 2 дня до извержения разломы соединились в подковообразную трещину длиной около 150 м и шириной 20 м, из которой и прогремел мощный взрыв. Когда спустя несколько месяцев исследователи поднялись на Безымянный, они ожидали увидеть там гигантскую дыру – эпицентр взрыва, из которого за короткое время вырвались огромные объемы газа, однако никаких следов на поверхности найти не удалось



Геофизики боялись, что сейсмические станции, расположенные близко к эпицентру, окажутся полностью засыпанными или поврежденными пирокластическими потоками. К счастью, их опасения не оправдались. 2018 г.



вулканом. Это позволило воссоздать строение земных недр, определить внутреннюю структуру магматических очагов и расположение газового резервуара. Исследователям также удалось реконструировать процессы, запускающие извержение, понять, как появляется в недрах под вулканом газ и почему он накапливается с такой скоростью и в таком объеме.

Исследования новосибирских ученых на Камчатке в 2017–2018 гг. дали не только уникальную информацию о внутреннем строении и механизме извержений вулкана Безымянный, но и новый инструментарий для прогнозирования взрывных извержений.

Возможность с большой долей вероятности предсказывать подобную вулканическую активность крайне важна для многих регионов, особенно для таких, как Индонезия и Коста-Рика, где «взрывные» вулканы, в отличие от Камчатки, расположены в густонаселенной местности.

Новый активный купол вулкана Безымянный. 2018 г.



К ВЗРЫВУ ГОТОВ

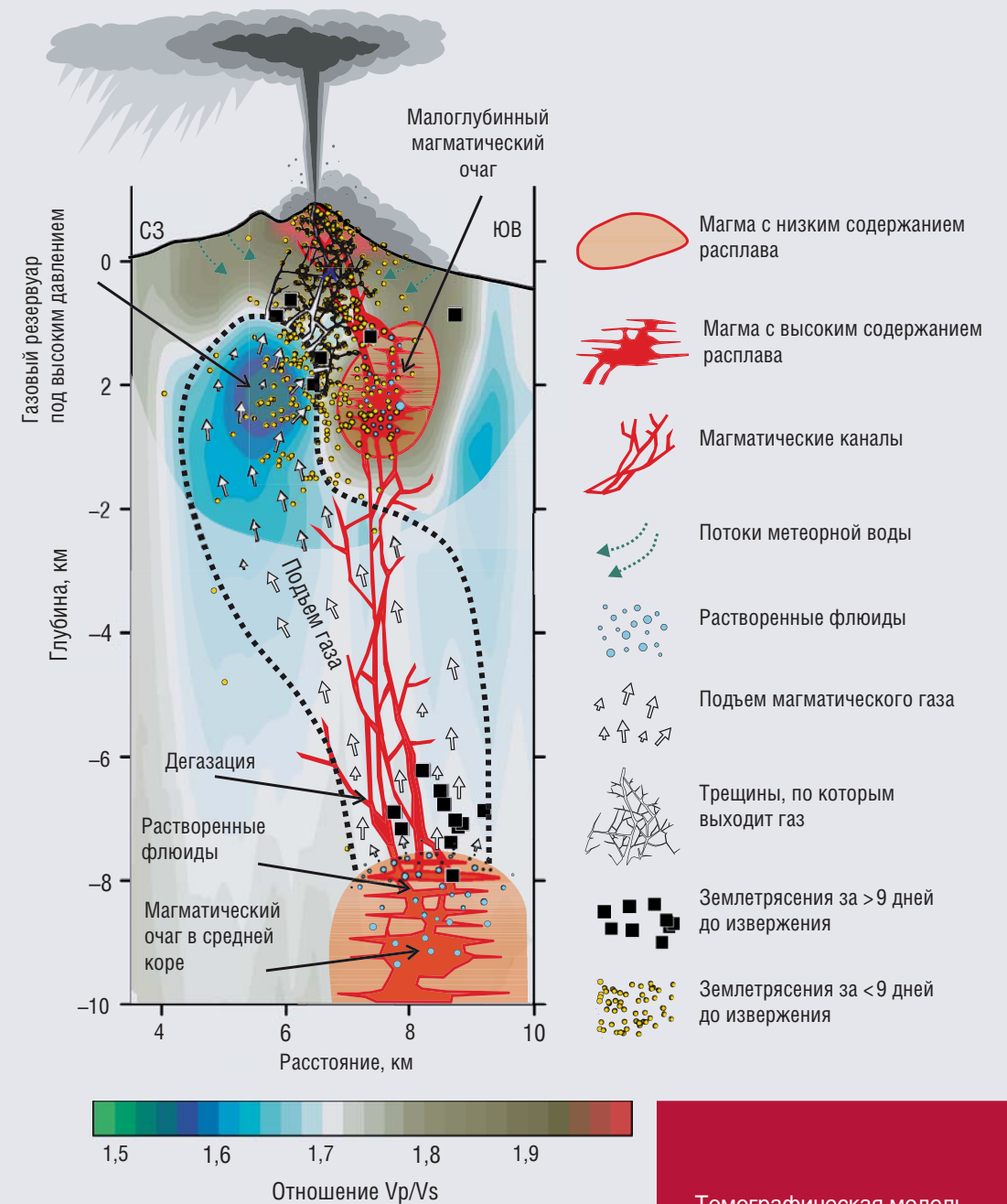
На томографической модели Безымянного на глубине около 2 км от поверхности выделяются две аномалии, соответствующие двум резервуарам: газовому (синяя область) и магматическому (красная область). Такая картина нетипична для вулканов: обычно для них характерен только магматический очаг, который обеспечивает материал для лавовых потоков и рост купола.

На основе данных предыдущих региональных сейсмических исследований (Koulakov *et al.*, 2017) геофизики пришли к выводу, что выходящие из недр магматические флюиды накапливаются в средней коре на глубинах ниже 8–10 км, питая по каналам вышележащие магматические резервуары. Растворенной в магме воде очень трудно мигрировать в мягкой пластичной высокотемпературной массе, поэтому она накапливается там в больших количествах, пока ее не становится слишком много. Из-за роста давления и температуры в магматическом очаге вода начинает выходить в окружающие более холодные и хрупкие породы,

где образуются трещины гидроразрыва. Так происходят землетрясения, и эти сейсмические события на глубине 8 км были зарегистрированы на Безымянном за 47 дней до извержения.

Выделяющиеся из глубинного источника магматические газы легко мигрируют через пористую среду и образуют под вулканом газовый резервуар высокого давления. Примерно за неделю до извержения давление там достигает критических значений, и породы непосредственно под вулканом начинают разрушаться, что сопровождается роем малоглубинных землетрясений. Под вулканом появляются трещины, которые постепенно объединяются в единый канал, тогда происходит взрыв.

К сожалению, неизвестно, что происходит с подземными резервуарами в дальнейшем, так как после кратковременного взрывного извержения сейсмичность полностью исчезает. И построить томографическую модель на этом этапе исследований невозможно



Лутература
 Belousov A. Deposits of the 30 March 1956 directed blast at Bezymianny volcano, Kamchatka, Russia // *Bulletin Volcanol.* 1996. V. 57. N. 8. P. 649–662.
 Girina O.A. Chronology of Bezymianny Volcano activity, 1956–2010 // *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 2013. V. 263. P. 22–41.
 Gorshkov G.S. Gigantic eruption of the volcano Bezymianny // *Bulletin Volcanol.* 1959. V. 20. N. 1. P. 77–109.
 Koulakov I., Abkadyrov I., Al Arifi N. *et al.* Three different types of plumbing system beneath the neighboring active volcanoes of Tolbachik, Bezymianny, and Klyuchevskoy in Kamchatka // *JGR Solid Earth.* 2017. V. 122. N. 5. P. 3852–3874.
 Koulakov I., Plechov P., Mania R. *et al.* Anatomy of the Bezymianny volcano merely before an explosive eruption on 20.12.2017 // *Sci. Rep.* 2021. V. 11. N. 1. P. 1758. DOI: 10.1038/s41598-021-81498-9.

Томографическая модель земной коры под вулканом Безымянный построена на основе распределения скоростей пробега продольных и поперечных сейсмических волн (V_p и V_s) и отношения этих скоростей (V_p/V_s). Последний параметр очень чувствителен к наличию жидкой и газообразной фазы: низкие значения говорят о скоплении газа в породах, высокие — о наличии магматического очага с большим содержанием расплавленных пород и растворенных флюидов