



Извержение Толбачика — очередное послание «Страны вулканов»

Большинство вулканических извержений и землетрясений на Земле происходит в так называемом «огненном поясе» планеты – цепочке из более пятисот «уснувших» и более трехсот действующих вулканов, протянувшихся по периметру Тихого океана. Причина в том, что эта область лежит на стыке океанических и континентальных литосферных плит, и вулканическая активность прямо связана с их непрерывным взаимодействием в продолжающемся процессе формирования континентов. Тихоокеанское вулканическое кольцо (или, скорее, «полукольцо») тянется по краям всего океана, начиная от побережья Южной и Северной Америки, проходит вдоль Антарктики и далее через Новую Зеландию, Филиппины и Японию и заканчивается на наших Курилах и Камчатке. Последнюю недаром называют «страной вулканов», а камчатскую Ключевскую группу вулканов – еще и настоящим «заповедником вулканизма». Одним из последних ярких проявлений вулканической активности этого района стало извержение на Толбачинском вулканическом массиве в 2012–2013 гг., признанное одним из крупнейших извержений в мире. К счастью, в отличие от многих его «тихоокеанских собратьев», оно не привело к человеческим жертвам, зато ученым преподнесло немало сюрпризов

«Толбачинская гора стоит в стрелке между Камчаткою-рекою и Толбачиком, курится из давних же лет, и сперва, как сказывают камчадалы, дым шел из верха ее, но лет за 40 переместился, а вместо того загорелась она на гребне, которым с другою горою соединяется. В начале 1739 года в первый раз выкинуло из того места будто шарик огненный, которым, однако, весь лес по околележащим горам выжгло. За шариком выбросило оттуда ж как бы облачко, которое, час от часу распространяясь, больше на низ опускалось и покрыло пеплом снег верст на 50 во все стороны» (Крашенинников, 1755). Так пишет о вулканической активности Плоского Толбачика в своем классическом труде известный российский ученый и путешественник С. П. Крашенинников. С середины XVIII в. на Толбачинском вулканическом массиве было отмечено еще более десятка извержений разной мощности, большая часть которых пришлось на XX в.

Последний в прошлом веке эпизод вулканической активности был зафиксирован здесь в 1975–1976 гг. Это мощное извержение было признано настолько выдающимся, что ему было присвоено имя собственное: *Большое трещинное толбачинское извержение* (БТТИ) (Федотов, 1984). Этой же чести было удостоено и последнее извержение, начавшееся 36 лет спустя –



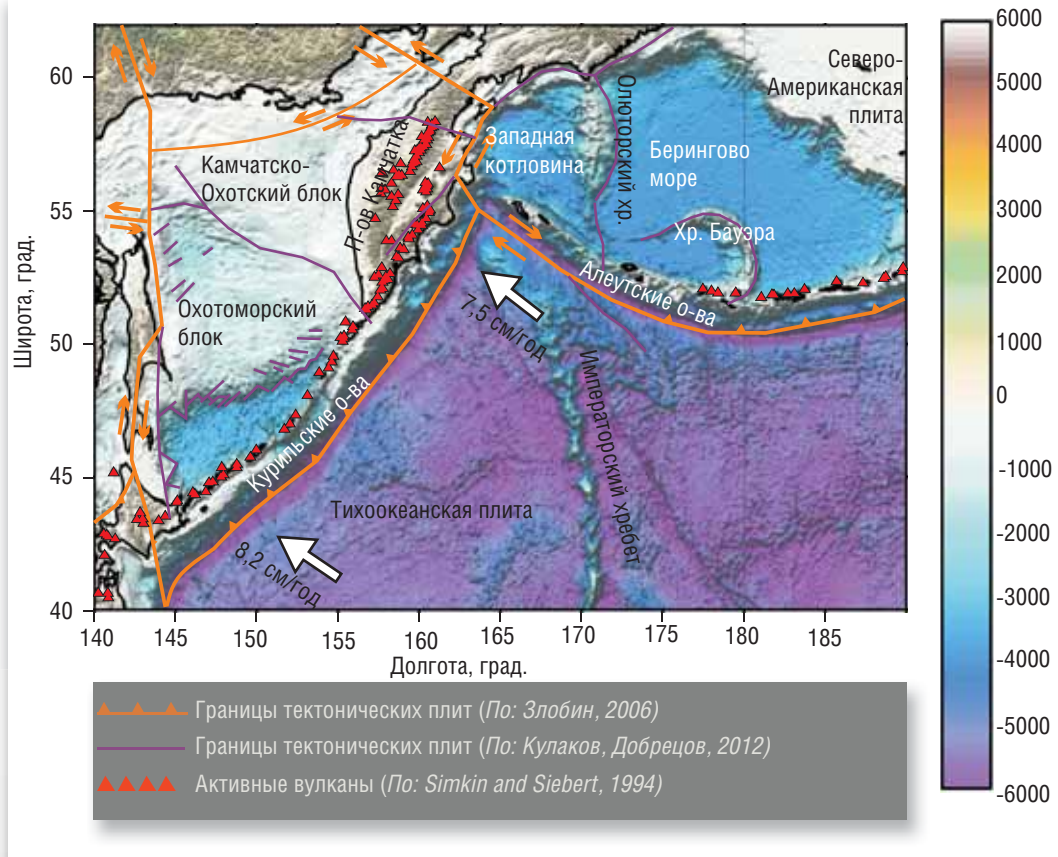
КУЛАКОВ Иван Юрьевич – член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, заместитель директора по научной работе и заведующий лабораторией сейсмической томографии Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор более 100 научных работ

Ключевые слова: Тихоокеанское вулканическое кольцо, вулканы Камчатки, Ключевская группа вулканов, Толбачик, извержение, тектоника, субдукция, сейсмическая томография, томографические модели, геохимия.
Key words: Pacific Ring of Fire, volcanoes of Kamchatka, klyuchevskoy volcano group, Tolbachik, eruption, tectonics, subduction, seismic tomography, tomographic algorithms, geochemistry

Слева: активный шлаковый конус. Толбачик, январь 2013 г. Фото А. Белоусова

© И. Ю. Кулаков, 2018

На карте отмечены основные тектонические элементы в Курило-Камчатском и Алеутском регионах, в первую очередь глубоководные желоба – места, где Тихоокеанская плита, двигаясь со скоростью 7,5–8,2 см в год, начинает свое погружение под Камчатку, Курильские и Алеутские острова



Вулкан Толбачик относится к наиболее изученным на Камчатке, а первые сведения о его активности приводятся в классическом труде С. П. Крашенинникова, писавшего, что на Камчатке есть три «Горелых» Солпки: Авачинская, Толбачинская и Камчатская (Ключевская). Первое исторически зафиксированное извержение Толбачика состоялось в начале 1739 г., по другим данным – 12(22) декабря 1740 г.: «...В первый раз выкинуло из того места будто шарик огненной, которым однако весь лес по околу лежащим горам выжгло» (Крашенинников, 1755). Это извержение было одним из наиболее мощных и разнообразных по проявлениям: эксплозии центрального кратера, сопровождались излиянием лавовых потоков, а также, вероятно, и образованием побочного кратера. Выпадение пепла отмечено на расстоянии до 150 км от вулкана, а в 30 км мощность пеплов достигала 1 см. Кроме того, за 4 дня до начала отмечено очень сильное землетрясение, ощущавшееся на большей части территории Камчатки. В дальнейшем наблюдалось еще 12 его извержений: зимой и осенью 1769 г., 1788–1790, 1793, 1904, 1931, 1937, 1939–1941, 1954, 1961–1962, 1964, 1965–1970, 1975–1976 гг., через 3–5 или 20–27 лет (Толбачинское трещинное извержение 2012–2013 гг., 2017)

в 2012 г., которое получило название *Толбачинское трещинное извержение имени 50-летия ИВиС (ТТИ-50)* в честь юбилея Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (Петропавловск-Камчатский).

Нужно сказать, что последнее (как и предыдущее) извержение на Толбачике само по себе не уникально, подобные события случаются в разных местах планеты: в Исландии, Эфиопии, на Гавайях... При этом в земле образуется трещина, из которой начинают выливаться огромные объемы лавы. Именно поэтому Толбачик называют *вулканом гавайского типа*, а извержение – *трещинным* (Федотов, 1984). И все же считать это извержение обычным никак нельзя. Дело в том, что трещинные извержения чаще связаны с так называемыми «горячими точками» – *плюмами*. Последние представляют

Толбачинский дол расположен в Центральной Камчатской депрессии. На севере он примыкает к двум крупным вулканам – Плоскому и Острому Толбачикам, сформировавшимся в плейстоцене. Лавовый покров дола возник в голоцене в результате деятельности многочисленных центров излияний, зафиксированных шлаковыми конусами





Вулканолог в теплоизолирующем костюме измеряет температуру лавы в «реке», выходящей из лавовода в 1 км от активного шлакового конуса Толбачика. Март 2013 г. Фото А. Белоусова

собой струи глубинного горячего расплава, которые поднимаются через мантию и достигают поверхности, прожигая литосферу, где и образуются вулканы с очень жидкой и горячей базальтовой лавой.

Вообще все вулканы грубо можно разделить на два основных типа. Первые связаны как раз с плюмами, и благодаря их работе на поверхность изливается мантийное вещество. Вторые образуются в зонах *субдукции* – процесса, при котором одна литосферная плита погружается под другую. В местах погружения идет ряд сложных химических, механических и термических процессов. В результате образуется и устремляется вверх большое количество воды, флюидов и расплавов, которые при достижении земной поверхности могут приводить

к образованию цепочек вулканов – *вулканических дуг*. Есть еще и третий тип вулканов, также довольно распространенный, связанный с извержением базальтов в срединно-океанических хребтах. Яркий пример – Исландия, хотя она является, скорее, исключением: подавляющее большинство подобных извержений подводные и прямому исследованию недоступны.

Необычная особенность Толбачика в том, что по составу изверженных лав он ближе к плюмовому типу, однако находится в зоне субдукции! Такие трещинные извержения действительно уникальны. Другая его отличительная черта – само местоположение в рамках Ключевской группы вулканов, которую недаром называют «заповедником вулканизма». Здесь представлены все типы вулканов, которые можно найти на Земле, с потрясающей уникальностью форм, разнообразия режимов извержения!

Главный активный вулкан группы – Ключевской – относится к крупнейшим в Евразии и извергается относительно небольшими и спокойными потоками базальтовой лавы, за сотни тысяч лет сформировавшими

КАК «ПИТАЕТСЯ» ТОЛБАЧИК?

Откуда же черпало свои силы последнее толбачинское извержение? Тщательное изучение внутренней структуры земной коры и мантии на основе многолетнего непрерывного сейсмического мониторинга вулканов Ключевской группы позволило нам построить модель процесса субдукции в этом регионе, где происходит взаимодействие двух литосферных плит – Тихоокеанской и так называемой Охотоморской, которая является частью Евразии (Кулаков и др., 2011). Океаническая плита, погружаясь в мантию под Камчатку, Курильские и Алеутские острова со скоростью 7,5–8,2 см в год, на глубине 100–150 км плавится. Как же идет этот процесс? Еще находясь под океаном, эта плита обогащается большим количеством различного материала, включая органические вещества и воду. Когда такая плита погружается в мантию на большую глубину, все эти вещества под действием высокого давления и температуры начинают преобразовываться и выделяться из плиты. Материал выходит постепенно, «порциями», и все эти стадии сопровождаются сейсмичностью. Когда из плиты выходит вода, она понижает трение, а поскольку там большие напряжения, то плита начинает легче «проскальзывать». При этом горячее вещество поднимается вверх отнюдь не в виде непрерывной стены, а дискретными струями, расстояние между которыми составляет около 100 км (Добрецов и др., 2001). Это определяет появление на земной поверхности цепочек типичных групп вулканов с аналогичным расстоянием между ними. По-видимому, одна из таких струй, находящаяся под Ключевской группой вулканов, питает в том числе и Толбачик

Лагерь геофизиков на еще теплом лавовом поле. Август 2014 г.

почти идеальный громадный конус. В 10 км от него расположен вулкан Безымянный, имеющий абсолютно другой характер и состав извержений. До середины прошлого века он молчал в течение нескольких тысяч лет, чем и объясняется его название, но в 1956 г. там произошло катастрофическое взрывное извержение – одно из сильнейших в XX в. После этого на нем практически каждый год происходят взрывы, не столь катастрофические, но вполне ощутимые. И, наконец, третий тип – трещинный вулканизм Толбачинского дола, который совершенно не похож на два предыдущих.

Всего же в группе имеется более десяти крупных вулканов. Хотя многие из них считаются спящими, время от времени некоторые из них «просыпаются». Например, в 2018 г. признаки усиливающейся сейсмической активности стал проявлять вулкан Удина, считавшийся потухшим. Хотя такая активность не обязательно является предвестником извержения, она показывает, что магматические источники под вулканом вполне живы, что заставляет обратить на него пристальное внимание.





Провал в кровле лавовода с текущей лавой. Май 2013 г.
Фото М. Белоусовой

Извержение «заметили» приборы

Извержение Толбачика в 2012–2013 гг. стало для ученых полной неожиданностью. По характеру подготовки оно принципиальным образом отличалось от предыдущего крупного извержения, произошедшего там в 1976 г. и развивавшегося постепенно. Тогда в течение нескольких месяцев сначала регистрировались мощные сейсмические толчки, которые экспоненциально учащались. Кульминацией этого процесса стало открытие 6 июля 1975 г. трещин длиной 200–600 м, из которых начала в огромном объеме изливаться лава. В течение следующих двух месяцев образовывались все новые и новые трещины, постепенно перемещаясь на юг. Первые излияния начались в районе Северного прорыва на расстоянии около 15 км от вершины Плоского Толбачика, а впоследствии добавилось еще одно новое извержение на 25 км южнее – Южный прорыв.

В случае последнего извержения предвестники были далеко не столь четкие, и это не позволило предсказать момент его начала. Уже постфактум детальный анализ сейсмических данных показал повышение количества сейсмических событий в течение нескольких месяцев, которые, впрочем, не вызвали опасений из-за их чрезвычайно малой магнитуды (Kugaenko *et al.*, 2015). Лишь в последний день перед извержением, начавшимся 27 ноября 2012 г., были зарегистрированы достаточно сильные землетрясения, вызванные финальным прорывом магмы на поверхность. Так как Толбачик находится в довольно безлюдном районе, начало извержения обнаружили именно благодаря регистрации этих событий с помощью сейсмических станций Камчатского филиала геофизической службы РАН, которые непрерывно в режиме



Текущая базальтовая лава формирует причудливые формы. Фото автора

реального времени передавали данные в центральный офис в Петропавловске-Камчатском.

В последующие несколько дней извержение сопровождалось мощными взрывами, гул от которых был слышен в окрестных поселениях на расстоянии 30–50 км. Пепел от этих взрывов распространялся на большие расстояния. Лавовые потоки изливались сразу из нескольких мест и растекались на десятки километров. Опасности они, конечно, не представляли, и не потому, что эти места сами по себе малообжитые. На самом деле, лавовые потоки редко приводят к гибели людей: жертвами таких извержений становятся, главным образом, зеваки, которые сами лезут в самое пекло. Наибольшую опасность при извержениях представляют *пирокластические потоки* – смесь высокотемпературных вулканических газов, пепла и камней, а также *лахары* – грязевые потоки, несущиеся по склонам вулкана с огромной скоростью. Но такого рода явления на Толбачике не происходят.

Сразу после «открытия» извержения на Толбачик устремились самые разные специалисты. Несмотря на сложные погодные условия (тайфун, метель),

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН организовал непрерывные комплексные наблюдения за этим извержением. Оказалось, что выброс лавы в этот раз произошел из двух прорывов, расположенных на южном склоне Плоского Толбачика примерно в 5 и 8 км от вершины. Эти прорывы были названы в честь известных российских вулканологов – И. А. Меняйлова и С. И. Набоко. Места извержений располагались ближе к конусу вулкана, чем Северный и Южный прорывы, где шло массивное излияние лавы в 1975–1976 гг.

На Толбачике были проведены самые разные исследования, помимо сейсмологических: геодезические, петрологические, геохимические и т.п. В том числе геохимики установили, что базальт из разных лавовых потоков, как и во время извержения 1975 г., имел маркеры, указывавшие на неоднородность изверженного магматического материала (Churikova *et al.*, 2015). Для геохимиков это принципиальный момент, означающий, что на глубине 30 км могут находиться несколько изолированных горячих «котлов», которые «варят» магму по-разному. Но была вероятность, что состав лав поменялся на подходе к поверхности вследствие

на стр. 48

Схема распространения лавовых потоков Толбачинского трещинного извержения 2012–2013 гг. Извержение началось с раскрытия трещины и фонтанирования лавы в прорыве Меняйлова, а несколько позже ниже по склону образовалась трещина прорыва Набоко. По: (Volynets *et al.*, 2015)

- 1 – лавовые потоки прорыва Меняйлова;
- 2 – лавовые потоки прорыва Набоко;
- 3 – лавовые потоки прорыва Меняйлова, перекрытые потоками прорыва Набоко;
- 4 – места отбора проб;
- 5 – положение центров извержения

Установка сейсмических станций в южной части Толбачинского дола в рамках международной экспедиции в 2015 г. Фото автора

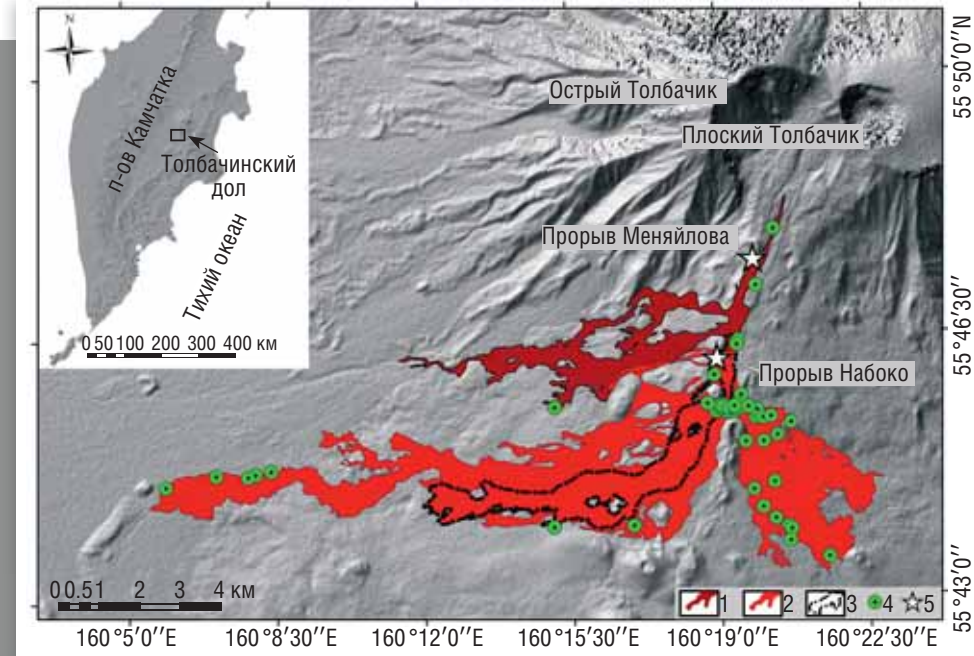
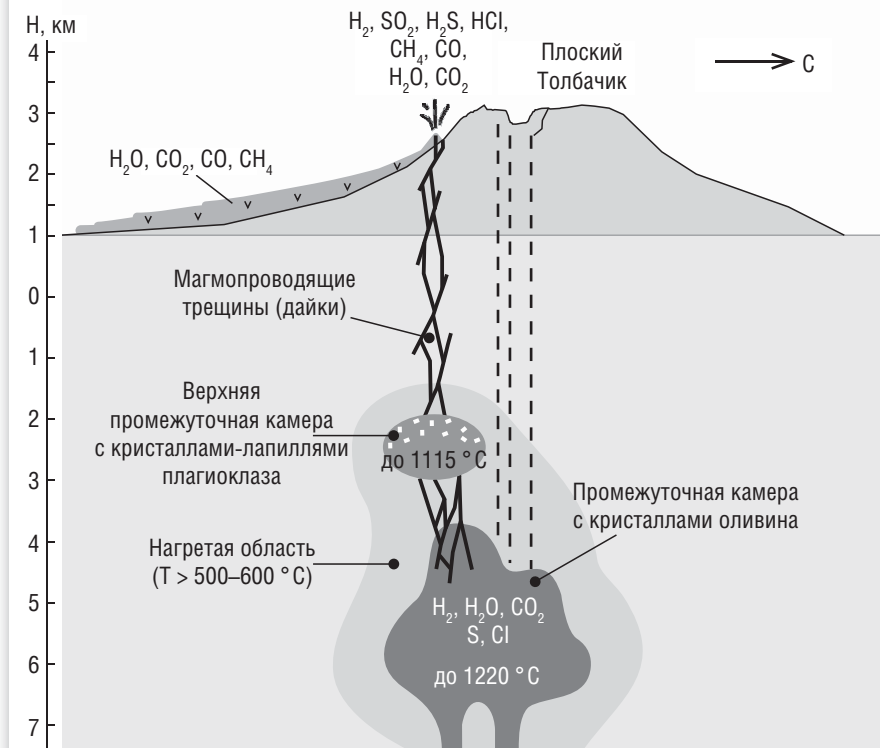


Схема составлена на основе дешифрирования космических снимков NASA и JPL, а также результатов полевых работ





Лавовый поток типа «пахой-хой», с волнообразной поверхностью. При движении жидкой горячей лавы на ее поверхности образуется вязкая стекловатая корка, которая легко скручивается в складки. Такие потоки характерны для вулканов Гавайских островов. Июль 2013 г. Фото А. Белоусова



реагирования и перемешивания с очень неоднородным материалом коры. В этом смысле очень интересно было узнать, вышли ли все прорывы лавы из единого или нескольких глубинных магматических резервуаров и связаны ли они с источниками под другими вулканами, например, Ключевским и Безымянным.

Взгляд геофизика

Мы приехали на Толбачик примерно через год после окончания извержения. Почему не сразу? Организовать такую экспедицию непросто, да и ставить геофизические станции во время извержения бессмысленно: там было так беспокойно и «шумно», что никакой информации о глубинной структуре мы бы не получили. А когда мы приехали, лава уже почти застыла, хотя еще была достаточно горячей и шипела под дождем. Мы поставили 20 своих станций, еще по четыре станции нам предоставил Институт вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения РАН и Камчатский филиал геофизической службы РАН.

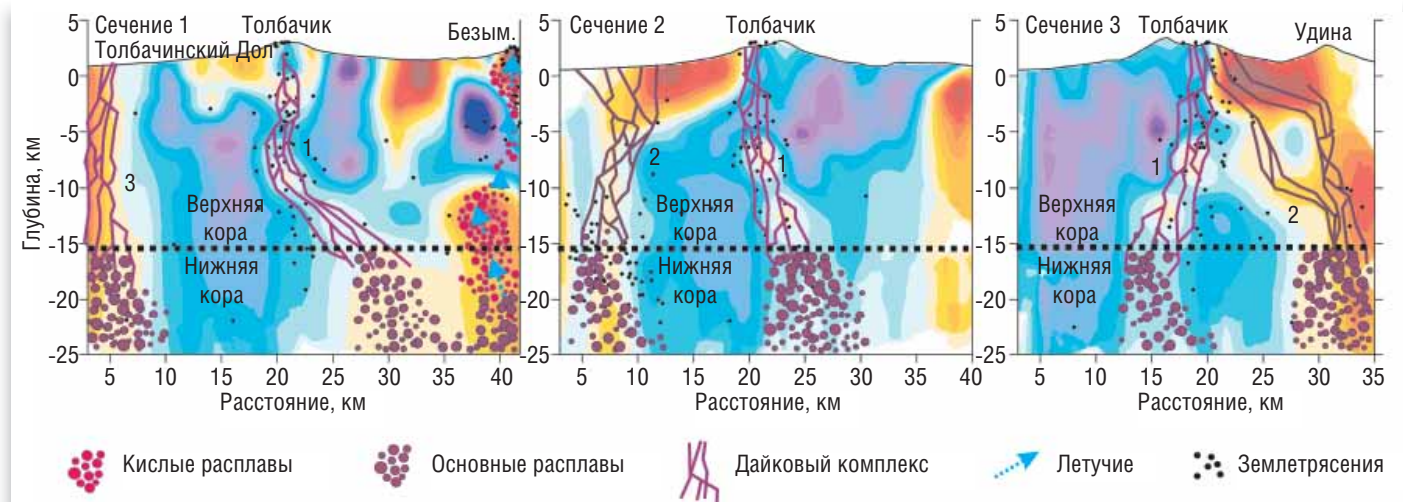
В результате у нас получилась довольно густая и равномерно распределенная сеть из почти трех десятков станций. Надо сказать, что так на вулканах сейсмические станции мало кто ставит: обычно их располагают там, куда удобно добраться, где есть дороги. Создать равномерную сеть сложно, но зато таким образом мы получаем уникальные, очень высокого качества данные.

Собственно говоря, в районе самого Толбачика раньше располагалось всего две сейсмологические станции, благодаря которым было возможно определить лишь сам факт землетрясения, а также примерное расположение его центра с точностью до 5–10 км. При этом надежно локализовать глубину землетрясения практически было нельзя. С помощью же нашей

Данные по петрохимии, геохимии, газовому анализу и фазовому составу расплавленных включений в минералах позволили реконструировать схему движения расплавов и летучих компонентов из промежуточных камер во время Толбачинского трещинного извержения 2012–2013 гг. Быстрое перемещение магмы перед извержением могло проходить по двум сценариям. Либо из нижней камеры в верхнюю и далее через систему трещин-даек, две из которых сформировали прорыв Меняйлова, а позже прорыв Набоко. Другой вариант – неудавшийся прорыв магмы по отмирающему каналу Плоского Толбачика и боковое перемещение магмы под сдвигонадвиг Толбачинского дола.

По: (Толбачинское трещинное извержение..., 2017)

Лагерь геофизиков в Толбачинском доле. Август 2015 г. Фото автора



С помощью сейсмической томографии впервые удалось определить коровые источники активности вулкана Толбачик. На трех вертикальных сечениях модели схематично указаны возможные автономные источники расплавов, питающие Толбачинский вулканический комплекс. Непосредственно под Толбачиком наблюдается аномалия с пониженными скоростями сейсмических волн (обозначена цифрой 1), которая предположительно обозначает канал, поставляющий материал из области Ключевского вулкана. Второй источник может располагаться южнее вулкана Удина (цифра 2), а третий – лежать в самой южной части Толбачинского дола (цифра 3).

По: (Толбачинское трещинное извержение..., 2017)



сети мы смогли получить необходимые данные, которые впоследствии были использованы не только для точной локализации сейсмических источников, но и построения сейсмотомографической модели вулкана (Koulakov *et al.*, 2017).

Под Толбачиком обнаружилось несколько зон с пониженными скоростями сейсмических волн, которые обычно связывают с областями повышенной температуры и/или с насыщением флюидами или расплавами. На основе этой информации мы определили, что под вулканом имеются как минимум два вертикальных канала, которые его подпитывают. Один канал идет с севера, вполне возможно, что по нему поступает вещество из того же самого источника, что питает Ключевской и Безымянный вулканы. Второй канал, выделенный в сейсмотомографической модели на территории Толбачинского дола, расположен в районе Северного прорыва и ведет к совершенно другому глубинному магматическому источнику. Все это объясняет, почему состав лав вершинного извержения, Южного и Северного прорывов так различается.

К сожалению, расположить станции в районе Южного прорыва в первый свой приезд нам не удалось. Но спустя еще год мы поставили сеть, которая покрыла уже всю область вулкана, и сейчас заканчиваем обработку полученной информации. Это большая рутинная работа: данные только по одному землетрясению обрабатываются несколько дней, а ведь таких землетрясений нужно набрать сотни, а желателен и тысячи.

Огромную работу по изучению глубинного строения под Толбачиком проделали и наши коллеги из КФГС РАН. Они использовали другой метод – микросейсмическое зондирование. Дело в том, что земная поверхность постоянно колеблется вследствие микросейсмичности, океанских прибоев и прочих факторов. Амплитуда этих колебаний, зарегистрированных на поверхности, зависит от глубинной структуры. Этот эффект можно проиллюстрировать на примере горной реки. Если на дне потока лежит большой камень, то над ним образуется большая стоячая волна – бурун. Если этот камень находится глубоко, то волна будет иметь «плавающую» форму, если близко к поверхности – «острый» пик. Так и тут: если на сейсмических записях мы видим большую амплитуду колебаний фонового шума, значит внизу находится тело с низкими сейсмическими скоростями. На основании анализа амплитуды зарегистрированных на поверхности сейсмических колебаний можно оценить глубину и форму аномального тела.

Получение данных для микросейсмического зондирования требует трудоемких полевых работ. Район исследования покрывается достаточно плотной сеткой. Исследователи ставят прибор в каждой ее точке, регистрируют сигнал в течение нескольких часов, а потом переносят прибор на следующую точку, пока



Монография «Толбачинское трещинное извержение 2012–2013 гг. (ТТИ-50)» / Отв. ред. Е. И. Гордеев, Н. Л. Добрецов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. 421 с. ISBN 978-5-7692-1551-1

Первые научные статьи, посвященные извержению на Толбачинском вулканическом массиве, вышли в специальном сборнике *Journal of Volcanology and Geothermal Research* в 2015 г. В них был описан ход извержения, приведены данные геохимических анализов, но это был набор отдельных статей. Поэтому академики РАН Н. Л. Добрецов и Е. И. Гордеев решили выпустить специальное издание, где можно было бы в наиболее полном виде представить картину уникального извержения. В монографии «Толбачинское трещинное извержение 2012–2013 гг. (ТТИ-50)», вышедшей в конце 2017 г., детально показаны особенности Камчатской зоны субдукции, в границах которой находится Толбачик. Прослежена геологическая история этого региона, с которой связаны причины разнообразия камчатских вулканов, в том числе Ключевской группы. Помимо описания процесса извержения и сейсмологических данных, в монографии представлена подробная информация по строению земной коры под вулканом, химическому составу лав и вулканических газов, разнообразию горных пород и минеральных ассоциаций в изверженном веществе. Эта информация позволяет судить об особенностях образования магмы в глубинных источниках



не закончат измерения полностью. Такого рода работа в полевых условиях может занять несколько месяцев. Но главное то, что два независимых геофизических метода, основанных на сейсмотомографии и микросейсмическом зондировании, в целом дали сходные результаты и указали на наличие под Толбачиком питающих каналов, имеющих схожую конфигурацию.

Как известно, основные зоны субдукции расположены вокруг Тихого океана (в Японии, Новой Зеландии, на Филиппинах, в Америке), а также в Индонезии – все это очень густо населенные районы. Там работают очень квалифицированные вулканологи и сейсмологи, и эта работа жизненно необходима, так как сегодняшние технологии позволяют предсказывать, что, где и когда ожидать.

К сожалению, уровень мониторинга вулканов и эффективность оповещения населения не везде находятся на должном уровне. Так, последнее извержение вулкана Фуэго в Гватемале в июне 2018 г. вызвало пирокластические потоки и разрушительные лахары, которые привели к гибели десятков людей. Многочисленные кино- и фотоматериалы, задокументировавшие эту трагедию, показывают, что и само население часто недостаточно серьезно относится к опасности, что и является одной из основных причин человеческих жертв.

Но есть и другие примеры. Так, во время достаточно мощного извержения вулкана Мерапи на о. Ява в 2010 г. прогноз ученых сыграл ключевую роль в спасении населения: по их рекомендациям, сотни тысяч человек были эвакуированы из потенциально опасной области вокруг вулкана радиусом несколько десятков километров. Результаты расчетов оказались точными: пирокластические потоки прошли по эвакуированным районам, не достигнув населенных мест. Если бы не работа вулканологов, то число жертв могло исчисляться десятками тысяч! Ученые стали национальными героями Индонезии, их портреты печатают на футболках. Так что вулканолог – это важная профессия, которая помогает избежать крупных катастроф.

В этом смысле Толбачик, как и всю Ключевскую группу вулканов, можно считать прекрасным исследовательским полигоном: поскольку этот район практически необитаем, извержения фактически ничем не грозят человеку.

Что же нового дало ученым комплексное изучение последнего толбачинского извержения? Как геофизик, не возьмусь делать точные выводы в отношении геохимии и петрологии. Известно, что извержения в зонах субдукции вообще крайне разнообразны, а изверженный материал в этом случае проходит через земную кору континентального типа, очень меняющуюся по составу. Химический состав вещества также зависит от места, где образовался очаг: в верхней или нижней коре или в мантии. Могу только отметить, что сенсацией стало обнаружение в составе образцов с Толбачика микроалмазов, хотя по поводу их существования мнения исследователей разошлись. Насчет геофизики я уже говорил выше: нам впервые удалось построить сейсмотомографическую модель вулкана, которая наглядно продемонстрировала его многокамерность.

В продолжение наших работ летом 2017 г. была установлена сейсмическая сеть на вулкане Безымянный, которая будет снята в июле 2018 г. И для нас было удачей, что уже в декабре там случилось взрывное извержение, сопровождавшееся выбросом пепла на высоту более 10 км и пирокластическими потоками. К счастью, наши станции не пострадали, пирокластический поток прошел в сотне метров от одной из них. Мы надеемся, что полученный с помощью станций материал даст уникальную информацию о том, как осуществлялось накопление взрывной силы внутри вулкана, и детально проследить, как происходил прорыв вулканического вещества во время извержения. В этот раз мы хотим более тесно сотрудничать с петрологами, которые смогут взглянуть на процесс подготовки извержения с точки зрения формирования горных пород.

Кроме того, летом 2018 г. мы планируем установить достаточно плотную сеть на вулкане Авачинский, который находится в непосредственной близости от г. Петропавловск-Камчатский и представляет для него реальную угрозу. Но это уже другая история. Что касается Толбачика, то следующего извержения этого вулкана еще лет тридцать можно не ждать. Хотя кто знает... Ведь извержения вулканов, как и другие природные катастрофы, в долгосрочной перспективе пока еще трудно прогнозировать.

Исследование поддержано проектом РНФ 14-17-00430