

Большие проблемы от обыденных вещей

Джиллиан Роуз Фулджер

На севере Атлантики фрагмент 2000-километрового Срединно-Атлантического хребта проходит сквозь огромный топографический свод, который возвышается над океаническим дном на 5 км (рис. 1). Этот свод столь обширен, что его вершина поднимается над поверхностью океана, формируя Исландский остров, имеющий протяженность порядка 350 км с юга на север. Более 20 спрединговых центров и 35 активных вулканов находятся выше уровня моря в этом уникальном месте, что удобно для ученых, но время от времени причиняет неудобство местным жителям, вынужденным мириться с эффектом частых вулканических извержений.

Кора здесь раздвигается со скоростью 2 см/год. Исландия становится шире вдоль хребта, но одновременно эрозия съедает ее берега. Суммарный эффект этих двух противоборствующих процессов привел к формированию острова шириной в 450 км с запада на восток. Однако удивительным образом самые древние породы, обнажающиеся вдоль побережья Исландии, имеют возраст 17 млн лет. За этот период времени могло образоваться только 340 км коры в результате раздвижения океанического дна. Избыточные 110 км коры должны иметь более древний возраст и быть погребены молодыми лавовыми потоками [1]. Эта неожиданная черта остается до сих пор не объясненной. Она является одной из многих загадок Исландии, до сих пор существующих, несмотря на десятилетия интенсивного изучения острова.

Граница раздвигающихся плит не проходит сквозь Исландию простой прямой линией (рис. 2). Океанический хребет выходит на берег на юго-западе под большим углом к оси растяжения в виде множества спрединговых сегментов (участков, где происходит раздвижение коры. – *Ред.*), формирующих полуостров Рейкьянес, протянувшийся на 80 км с запада на восток. На его восточном окончании граница плит поворачивает на 80° и продолжается далее на север в виде Западной вулканической зоны. Примерно в 100 км от нее на восток расположен еще один параллельный фрагмент хребта, называемый Восточной вулканической зоной. Раздвижение коры происходит вдоль этих двух хребтов.

В самом центре Исландии разделена на север и юг субширотной зоной активного вулканизма, которая протягивается от западного окончания острова – полуострова Снаефеллснес – практически сквозь всю Исландию. На севере активной является только одна полоса границы плит, называемой здесь Северной вулканической зоной. Ее близнец на западе недавно прекратил свое существование. Каждая вулканическая зона Исландии образована множеством более мелких подразделений, каждое из которых обычно представляет собой вулкан центрального типа, рассеченный роями трещин. Каждый вулкан извергается через десятки или сотни лет, и многие из них содержат в себе экономически рентабельные гидротермальные ресурсы. Двигаясь на север, спрединговый хребет соединяется с подводным хребтом Кольбейнсей посредством сложной зоны разрывов Тьорнес. Сама Исландия лежит в месте, где направление спрединговой границы плит изменяется от 50° СВ в пределах хребта Рейкьянес южнее Исландии до 20° СВ в пределах хребта Кольбейнсей севернее Исландии. Еще одна неразрешенная загадка.

Таким образом, вулканизм и тектоника в Исландии образуют чрезвычайно сложный узор, серьезно отличающийся от простой картины, которую себе обычно представляют ученые для спрединга океанического дна. Почему это так?

Джиллиан Роуз Фулджер (Gillian R. Foulger) – профессор Университета Дарема (University of Durham, Великобритания), автор более 100 статей в рецензируемых журналах и одной книги. В начале своей карьеры семь лет жила и работала в Исландии, изучая активные вулканы и их геотермальный потенциал. Затем занималась изучением процесса коровых деформаций, одной из первых применив GPS в таких исследованиях, а также изучала геотермальные землетрясения и проводила телесеismicкую томографию. Она инициировала международную дискуссию о том, существуют ли глубинные мантийные плюмы и какие могут быть альтернативные объяснения для районов аномального вулканизма (www.mantleplumes.org). За это в 2005 г. была награждена медалью Прайса (Price Medal) Королевского астрономического общества Англии (Royal Astronomical Society). Дополнительная информация доступна на сайте автора www.dur.ac.uk/g.r.foulger.



Исландия была приписана глубинному мантийному плюму с самого рождения этой теории [2]. Согласно такой точке зрения, колонна горячих пород поднимается от границы ядро – мантия, залегающей на глубине ~3 тыс. км, благодаря термальной плавучести и ударяется о подошву литосферы вблизи поверхности Земли. Там горячие породы плавятся, что приводит к избытку вулканизма на поверхности. Такой магматизм, видимо, не может существенно повлиять на поверхностную тектонику. Он только добавляет вулканических

Однако в течение последних дней и недель на первое место вышло не происхождение исландского вулканизма, а его роковой объем продуктов извержения. Обычно извержения в Исландии происходят каждые 2-3 года. Недавнее впечатляющее извержение произошло в 1996 г. на вулкане Гьялп, который проплавил огромную дыру в покрывающем

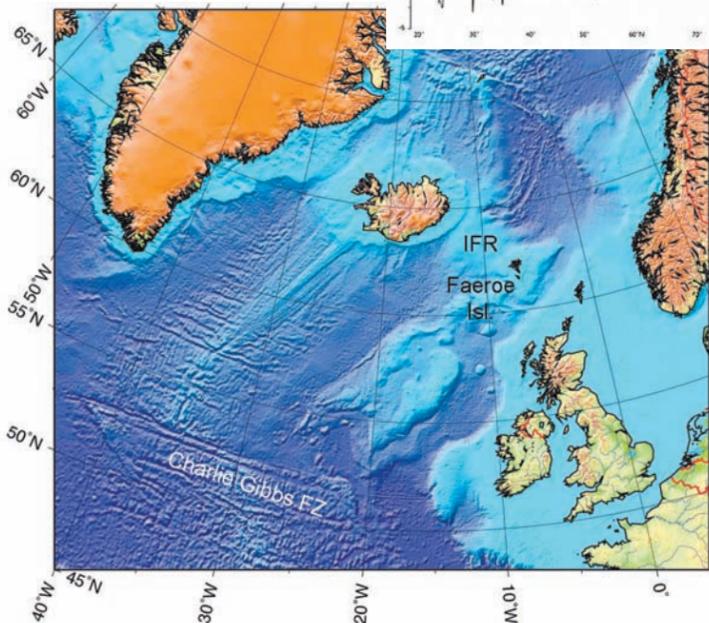
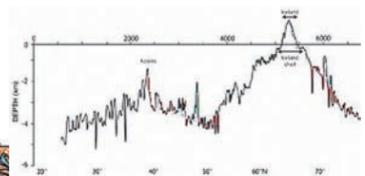


Рис. 1. Надводный и подводный рельеф в районе Исландии. IFR – Исландско-Фарерский хребет. Карта по [13]. Врезка показывает профиль вдоль Срединно-Атлантического хребта. Исландия не является изолированной возвышенностью, а сидит наверху широкой топографической аномалии, которая, имея ~3 тыс. км в поперечнике, занимает существенную часть Северной Атлантики [14]

извержений к извержениям, связанным с другим независимым процессом – плитной тектоникой.

Этой теории, однако, оказывается недостаточно, чтобы объяснить мириады сложных фактов, многие из которых присущи исключительно Исландии. В результате недавно была разработана новая плитная гипотеза как ответ для разрешения множества широко распространенных несоответствий в плюмовой гипотезе [3, 4]. Эта плитная гипотеза активно применяется для объяснения вулканизма Исландии [5, 6]. Исландия лежит в южной части каледонского шва, области древней субдукции. Геохимические следы такой субдукции найдены в исландских лавах [7-9], а сейсмическая томография указывает на то, что поставщик магматических расплавов под Исландией находится в неглубоких частях мантии [10-12]. Десятилетиями по умолчанию допускалось, что все уже известно о происхождении Исландии, однако исследования сегодняшнего дня говорят о том, что, может быть, все далеко не так очевидно, как казалось раньше.

его леднике Ватнайокюль (фото на стр. 1). Талая вода образовала катастрофический поток, прорвавшийся из-под южного края ледника и разрушивший прибрежную кольцевую дорогу, мосты и линии электропередач. Позднее извержения происходили на вулканах Гримсвётн в 1998 г., Гекла в 2000 г. и снова на вулкане Гримсвётн в 2004 г. Эти извержения остались практически незамеченными международным сообществом, но текущее извержение – это совсем другой случай.

Активизация вулкана Эйяфьятлайокуль, что в дословном переводе означает «остров-гора-ледник», впервые стала заметной 20 марта, когда извержение уже было видно невооруженным глазом. Несмотря на то, что интенсивность землетрясений и скорость деформаций увеличились за несколько недель до извержения, они не вызвали достаточного беспокойства для того, чтобы можно было предвидеть извержение и предупредить о грядущей вулканической опасности. Несколько последующих дней после начала извержения лава изливалась из трещины длиной в 500 м, подобно как это происходит при Гавайских извержениях. Благодаря тому, что трещина образовалась вниз по склону от ледника, лед изначально не плавился, и вулкан великодушно позволял людям наблюдать за собой, как в туристическом аттракционе. Красивейшие «лавовые водопады» образовывались там, где лава падала с обрыва вниз. 12 апреля извержение прекратилось.

Однако поздним вечером 13 апреля новое извержение, сопровождавшееся интенсивными землетрясениями и дрожанием земли, началось в самом центре кратера, погребенно-

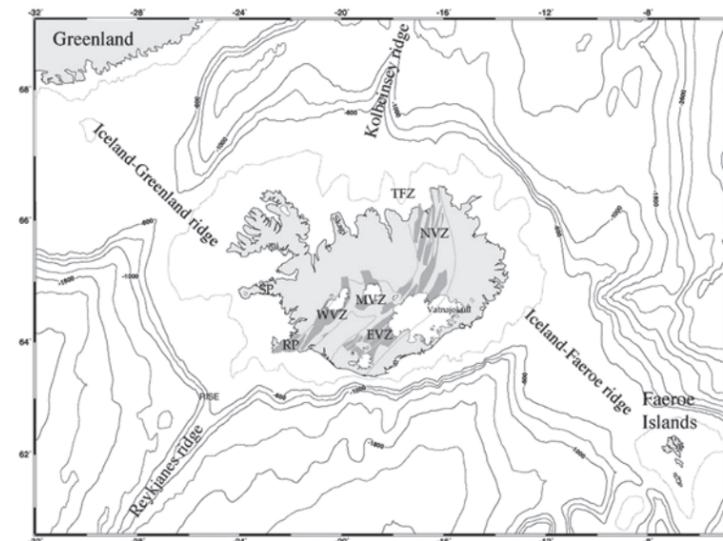


Рис. 2. Карта поперечных исландских хребтов с батиметрическими контурами и тектоническими особенностями Исландии. Показаны современные вулканические зоны. Спрединговые сегменты (вулканические системы) показаны темно-серым цветом, а ледники закрашены белым. RP – полуостров Рейкьянес, WVZ – Западная вулканическая зона, EVZ – Восточная вулканическая зона, SP – полуостров Снаефеллснес, NVZ – Северная вулканическая зона, MVZ – Срединная вулканическая зона, TFZ – зона разрывов Тьорнес

го подо льдом (фото во врезке на стр. 1). Это извержение быстро усиливалось, и в данный момент вулкан выдает яростный столб вулканического пепла и дыма (текст написан 20 апреля 2010 г., в настоящий момент активность вулкана снизилась до безопасной. – *Ред.*). Несмотря на то, что это извержение несопоставимо мало по сравнению с извержением вулкана на горе Святой Елены в США в 1980 г., по стечению обстоятельств ветер дует с севера и разносит пепел над Европой.

Не в первый раз Исландия дает знать о себе таким образом. В 1783 г. выдающееся извержение вулкана Лаки – самое большое из известных лавовых извержений в историческое время – произвело на свет клубы пепла и газа, которые привели к смерти 30% населения Исландии, а еще столько же было вынуждено эмигрировать в Канаду. Дания, управлявшая в то время Исландией, обсуждала, не является ли территория Исландии принципиально незаселяемой и не следует ли эвакуировать всех ее жителей в Данию. Загрязнение окружающей среды и похолодание климата серьезно повлияло на производство продуктов питания в Европе и Северной Америке, что также привело к множественным смертным случаям. Эта история напоминает нам, что, несмотря на все причиненные неудобства и потери в экономике от текущего извержения, в будущем может быть (и однажды несомненно будет) еще хуже.

Статья написана специально для *ТрВ-наука*.

Перевод Алексея Иванова

- [1] Foulger, G. R. (2006), Older crust underlies Iceland, *Geophys. J. Int.*, 165, 672-676.
- [2] Morgan, W.J. (1971), Convection plumes in the lower mantle, *Nature*, 230, 42-43.
- [3] Foulger, G.R., and J.H. Natland (2003), Is "hotspot" volcanism a consequence of plate tectonics?, *Science*, 300, 921-922.
- [4] Foulger, G. R. (2010) *Plates vs Plumes: A geological controversy*. Wiley. 472 p.
- [5] Foulger, G.R., and D.L. Anderson (2005), A cool model for the Iceland hot spot, *J. Volc. Geotherm. Res.*, 141, 1-22.
- [6] Lundin, E., and T. Dorj (2005), The fixity of the Iceland "hotspot" on the Mid-Atlantic Ridge: observational evidence, mechanisms and implications for Atlantic volcanic margins, in *Plates, Plumes, and Paradigms*, edited by G.R. Foulger, J.H. Natland, D.C. Presnall and D.L. Anderson, pp. 627-652, Geological Society of America.
- [7] Breddam, K. (2002), Kistufell: Primitive melt from the Iceland mantle plume, *J. Pet.*, 43, 345-373.
- [8] Chauvel, C., and C. Hemond (2000), Melting of a complete section of recycled oceanic crust: Trace element and Pb isotopic evidence from Iceland, *Geochim. Geophys. Geosys.*, 1, 1999GC000002.
- [9] Foulger, G.R., J.H. Natland, and D.L. Anderson (2005), A source for Icelandic magmas in remelted apatitic crust, *J. Volc. Geotherm. Res.*, 141, 23-44.
- [10] Foulger, G.R., et al. (2000), The seismic anomaly beneath Iceland extends down to the mantle transition zone and no deeper, *Geophys. J. Int.*, 142, F1-F5.
- [11] Hung, S.-H., Y. Shen, and L.-Y. Chiao (2004), Imaging seismic velocity structure beneath the Iceland hotspot – A finite-frequency approach, *J. geophys. Res.*, 109(B08305), doi:10.1029/2003JB002889.
- [12] Ritsema, J., H.J. van Heijst, and J.H. Woodhouse (1999), Complex shear wave velocity structure imaged beneath Africa and Iceland, *Science*, 286, 1925-1928.
- [13] Smith, W.H.F., and D.T. Sandwell (1997), Global sea floor topography from satellite altimetry and ship depth soundings, *Science*, 277, 1957-1962, doi: 10.1126/science.277.5334.1956.
- [14] Vogt, P.R., and W.-Y. Jung (2005), Paired (conjugate) basement ridges: Spreading axis migration across mantle heterogeneities?, in *Plates, Plumes, and Paradigms*, edited by G.R. Foulger, J.H. Natland, D.C. Presnall and D.L. Anderson, pp. 555-580, Geological Society of America.