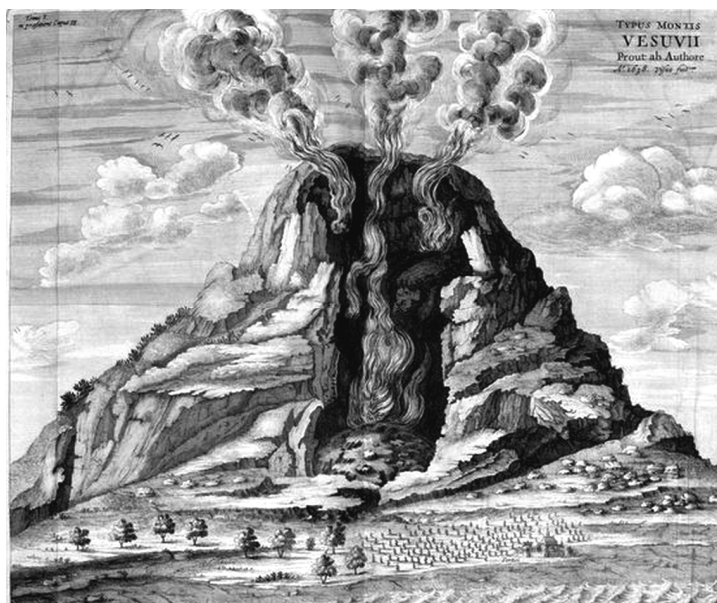




Везувий. Гравюра по рисунку Атанасиуса Кирхера из его трактата «Подземный мир» (Mundus Subterraneus). 1664.

УДК 551.21



Сывороткин В.Л.

Извержения вулканов

Сывороткин Владимир Леонидович, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник кафедры петрологии Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, почётный научный сотрудник МГУ

ORCID ID <https://orcid.org/0000-0003-2846-8484>

E-mail: vladimir-l-syvortkin@j-spacetime.com; hlozon@mail.ru

Основой точного прогноза вулканических извержений и степени их опасности являются теоретические представления о причинах вулканической деятельности и факторах, влияющих на ее характер. Вулканизм – это «горячее» проявление водородной дегазации земного ядра. Самый опасный тип современных извержений – эксплозивный (взрывной), его разновидность «палящие тучи»: противостоять им человек не может в принципе. Авторский алгоритм развития вулканических серий вулканов этого типа позволяет определять стадию его эволюции и потенциальную опасность ближайшего извержения.

Ключевые слова: вулкан; извержение вулкана; вулканический очаг; глубинная дегазация; лава; магма; кратер; кальдера; взрыв; «палящая туча»; «горячая точка».

Данная статья продолжает цикл работ автора¹, посвященных рассмотрению отдельных видов стихийных бедствий или природных катастроф – землетрясений, цунами, Эль-Ниньо и др. Необходимость

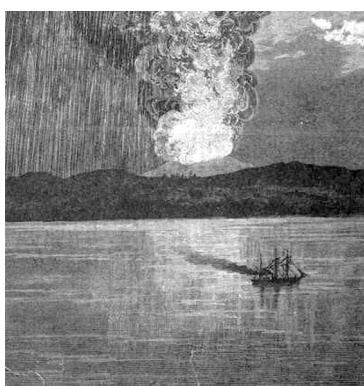
¹ Сывороткин В.Л. Цунами // Пространство и Время. 2011. № 3. С. 144–153; Он же. Землетрясения // Там же. 2011. № 2. С. 124–137; Он же. О геологической позиции Эль-Ниньо // Там же. 2012. № 2. С. 169–173; Он же. О природе природных пожаров [Электронный ресурс] // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. 2016. Т. 11. Вып. 1: Система планета Земля. Стационарный сетевой адрес: 2227-9490e-aprov_v_e-ast11-1.2016.21.

цикла диктуется тем, что именно нынешнему поколению людей выпало жить в эпоху усиления глобальных катастроф. Средства массовой информации ежедневно приносят сообщения о небывалой силе ураганов, землетрясений, наводнении и пр. Однако при объяснении причин этих катаклизмов и даже при их описании журналисты допускают неточности и ошибки, заметить которые широкая аудитория не может в силу того простого факта, что среднее школьное образование проходит мимо геологии. Для того, чтобы хоть отчасти восполнить этот пробел в образовании, а также сообщить новые научные взгляды на природу катастроф, и задуман этот цикл. Тем самым он рассчитан на широкую читательскую аудиторию. Другой особенностью наших работ по катастрофам является то, что они опираются на авторскую дегазационную концепцию глобальных катастроф¹, в рамках которой они связаны единым планетарным процессом – их общей универсальной причиной, – глубинной дегазацией.

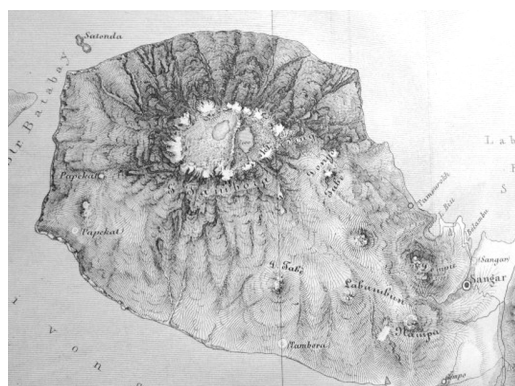
Опасность вулканических извержений

С 1600 г. извержения вулканов на нашей планете унесли жизни 220–250 тыс. человек, из них 80 тыс. человек – в XX столетии. Эта цифра включает также погибших от голода после неурожая и погибших от цунами, вызванных вулканическими извержениями. Вулканическая активность по регионам распределяется следующим образом: Индонезия – 17%, Япония – 10%, Алеутские о-ва – Аляска – 10%, Тихоокеанское побережье Южной Америки – 7% и Курильские о-ва – Камчатка – 7%².

Мы видим, что число человеческих жертв вулканических извержений за последние 400 лет сопоставимо с числом жертв лишь одного цунами в Индонезии в декабре 2004 г. Кстати, наиболее опустошительные извержения вулканов также происходили в этой стране. Здесь находится 129 действующих вулканов³. Наибольшее число человеческих жизней унесло извержение вулкана Тамбора в 1815–1816 гг. на небольшом острове Сумбава Зондского архипелага.



Извержение вулкана Тамбора в Голландской Ост-Индии (Индонезия) 1815 г. Гравюра из американского журнала "Old Farmer's Almanac" за 1816 г.



Карта о-ва Сангар (о. Сумбава, Индонезия) с кратером вулкана Тамбора. Из отчета экспедиции Г. Золлингера 1847 г. (опубликован в 1855). Из коллекции Бодлеанской библиотеки Оксфордского университета.

Это было самое мощное извержение, из числа известных в историческую эпоху. Оно длилось с 5 апреля 1815 г. до 15 июля 1816 г. Наиболее сильные эксплозии (взрывы) произошли 10 и 11 апреля 1815 г. Взрывом была образована кальдера (круговой провал, в который проседают остатки взорванного вулканического конуса), диаметром 6 км и глубиной 500–600 м. Высота горы уменьшилась почти на 1500 м, при этом было перемещено до 150 куб. км горных пород! Эксплозии сопровождались сильными землетрясениями, приливными волнами и ураганами. Расположенные поблизости от вулкана государства Темборо, Пекат, Сангар и большая часть Домпо и Бима были засыпаны метровым слоем пепла, под тяжестью, которого даже в 111 км от вулкана были разрушены жилища наместника и другие постройки. Извержение потрясло весь Индонезийский архипелаг. Погибло непосредственно от извержения и от его последствий от 66 000 до 92 000 человек. Во всей этой области уцелело лишь 29 человек⁴. Таким образом, на это самое мощное извержение пришлось от 26 до 40% людских потерь за весь 400-летний период задокументированных наблюдений.

На восемь столетий раньше, в 1006 г., в результате катастрофического эксплозивного (взрывного) извержения вулкана Мерапи («гора огня») на о. Ява погибло индийско-яванское государство Матарам. На его территории находилось несколько городов с многочисленными храмами. Обширная область была покрыта пеплом и обломками пород. Число жертв осталось неизвестным. Мерапи принадлежит к числу наиболее активных и грозных вулканов Индонезии (и планеты). Крупные извержения наблюдаются в среднем каждые 7 лет, мелкие – примерно два раза в год, а дымит вулкан почти каж-

¹ Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация и глобальные катастрофы. М.: Геоинформмарк, 2002.

² Кирьянов В.Ю. Современный вулканизм. СПб.: Litera Scripta, 2009; Викулин А.В., Вольфсон И.Ф., Викулина М.А., Долгая А.А. Цивилизация глазами катастроф: природных и социальных. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2016.

³ Мерапи (Ява) [Электронный ресурс] // Википедия. Свободная энциклопедия. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Мерапи_\(Ява\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Мерапи_(Ява)).

⁴ Раст Х. Вулканы и вулканизм. М.: Мир, 1982.



*Извержение вулкана Мерапи.
Фото 1931 г.*



Вулкан Мерапи выбрасывает клубы газа и пепла во время извержения 2010 г. Фото ©AP с сайта <https://www.theguardian.com/environment/2011/feb/09/volcanoes-climate>

дый день. В 1931 г. – 1300 погибших; в 1956 г. – опасность угрожала 15 селениям, 30000 жителей были эвакуированы. При извержении в 1974 г. было уничтожено два посёлка, а в 1975 г. – крупный посёлок и пять мостов, погибло 29 человек. Извергается этот вулкан и в настоящее время, сообщения о его активности неоднократно поступали весной 2006 г., В 2010 г. при извержении Мерапи было эвакуировано 350 000 человек, однако некоторые вернулись – в результате погибло 353 человека, попавшие в пирокластический поток. Последнее извержение наблюдалось в 2014–2015 гг.¹

Закончим рассказ об индонезийских вулканах описанием извержения островного вулкана Кракатау в Зондском проливе, произошедшего в 1883 г. между островами Ява и Суматра. До извержения вулкан представлял кальдеру диаметром около 6 км, в центре ее был расположен о. Кракатау – молодая вулканическая постройка, состоящая из трех связанных друг с другом вулканов – Раката, Данан и Пербуватан. В воскресенье 26 августа 1883 г. во второй половине дня началась серия эксплозий, которые можно было наблюдать с кораблей, проходивших вдалеке. На следующий день в 10 ч. 20 мин. гигантский взрыв разнес на куски вулканические конусы Данан и Пербуватан. Грохот взрыва был слышен в Австралии, на расстоянии 3 600 км, и даже на острове Родригес в Индийском океане, удаленном почти на 5 000 км. Взрывом было поднято в воздух свыше 18 куб. км горных пород. Пепел выпал на площади около 827 000 кв. км. В Джакарте он затмил Солнце до такой степени, что наступила почти полная темнота. Тончайшая пыль достигла стратосферы, в которой она распространилась по всей Земле, вызвав во всех странах необычно яркие закаты Солнца и сумерки. Прошли годы, прежде чем тонкая пыль из верхних слоев атмосферы вновь осела на Землю. В результате частичного экранирования солнечного излучения на больших территориях Земли снизились среднегодовые температуры воздуха.



Извержение вулкана Кракатау. Гравюра (слева) и фотография (справа) 1883 г.

Чудовищный взрыв вызвал не только огромную воздушную ударную волну, но и гигантскую приливную волну – цунами, высотой до 40 м, причинившую опустошения всюду, где она достигла берега. Погибло 36000 человек. Даже в проливе Ла-Манш между Англией и Францией приборы, измерявшие высоту прилива, зарегистрировали ее отдаленное воздействие². Отметим при этом, что взрыв Кракатау был в 8 раз слабее вышеописанного взрыва Тамбора в 1815 г.!

¹ Мерапи (Ява)...

² Раст Х. Указ. соч.

Факторы, определяющие характер вулканических извержений

Указав на опасность, которую представляют вулканические извержения на примере самого активного вулканического региона планеты, поясним сущность и природу вулканизма. Порождает его процесс планетарной дегазации – выделение из внешнего жидкого ядра Земли восстановленных газов, главным образом, водорода. Выделяясь на глубинах примерно 2900 км, этот газ проходит сквозь толщу твердой каменной оболочки планеты – мантии. В ее верхних горизонтах, на глубинах в десятки и первые сотни километров, водород взаимодействует с кислородом, входящим в состав мантийных минералов и окисляется с выделением большого количества тепловой энергии и образованием воды, которая резко снижает температуру плавления мантийных пород. Так в верхней мантии появляются магматические очаги, из которых по выводящим каналами магма поднимается вверх и извергается на поверхность земли (или на дно океана)¹.

Магма это кремнекислородный расплав, насыщенный флюидами, в котором весомую роль играют также алюминий, кальций, магний, железо, натрий, калий и фосфор. Перечисленные элементы составляют большинство горных пород, и поэтому они называются петрогенными (рождающими камни). Магмы (и образующиеся из них горные породы) в зависимости от содержания окиси кремния разделяют на ультраосновные (менее 45% SiO₂), основные (45-52%), средние (52-65%) и кислые (более 65%). Показатель этот очень важен, т.к. он влияет на реологические свойства магмы, что и определяет характер извержения вулкана.

Другой важный фактор, влияющий на текучесть расплава и характер извержения, – содержание газов, чем больше в магме газов, тем ниже ее вязкость, т.е. выше текучесть.

Магмы основного (базальтового) состава с низким содержанием SiO₂ и высоким содержанием газов высокотемпературные (более 1200°C). Они обладают низкой вязкостью и изливаются со склонов вулканов в виде лавовых потоков со скоростью превышающей 60 км/час.

Магмы среднего (андезитового) состава вулканов островодужного типа (зон геодинамического сжатия) особой угрозы не представляют. Они формируют малоподвижные потоки глыбовой лавы, например, на камчатском вулкане Карымский их скорость составляет всего 7м/сут².

Кислые лавы с высоким содержанием SiO₂, их температуры около 700°C. Они очень вязкие, способны застывать в жерле вулканов в виде своеобразных пробок – экструзий, которые могут закупоривать выводящий глубинные газы канал, что приводит к взрывам вулканических построек.

Кислые лавы, насыщенные газами, могут формировать «палящие тучи», когда огромные массы раскаленной и мелкодисперсной магматической массы со скоростью более 160 км/час слетают со склонов вулкана, уничтожая на своем пути все живое. Так погиб в 1902 г. Сен-Пьер, самый крупный и самый красивый город Малых Антильских островов.



*Извержение вулкана Мон-Пеле.
Фото Т. Андерсона, 1902 г.*



*Город Сен-Пьер после извержения вулкана Мон-Пеле.
Фото 1902 г.*

Содержание газов в магме, а значит и характер извержений, кардинальным образом зависят от геодинамического режима региона, в котором проявлен вулканизм.

На нашей планете отчетливо выделяются 3 типа геодинамических режимов вулканических областей:

- 1) режим растяжения, проявленный в океанских рифтах;

¹ Сывороткин В.Л. Коровые вулканы Курило-Камчатской дуги. М.: Геоинформмарк, 1996.

² Петрография: В 3 ч. / Под ред. А.А.Маракушева. Ч. 1. М.: МГУ, 1976.

2) режим сжатия, проявленный на континентальных окраинах Тихого океана и в Средиземноморской зоне тектонической активности;

3) режим глубинного магматизма, проявленный на океанических островах и в континентальных рифтах, – режим «горячих точек».

Вулканизм зон геодинамического растяжения

Большая часть вулканических извержений на нашей планете приурочена к рифтовым зонам океанов, а их продукты представлены основными породами – базальтами ($45\text{--}52\% \text{SiO}_2$)¹.

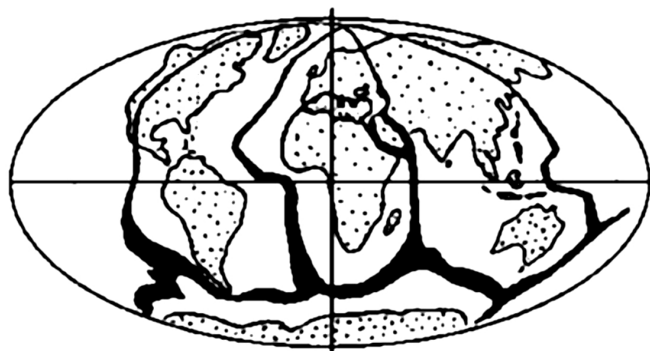


Рис. 1. Основные стволы Мировой рифтовой системы (обозначены черным цветом).



Вулкан Лаки в Национальном парке Скафтафедль.
Фото с сайта http://www.klaustur.is/Ferdathjonusta/English/Interesting_places/Vatnajokull_National_Park_-_Lakagigar

Большая часть этих вулканов подводная. Единственным значительным участком суши, принадлежащим океаническому рифту, является остров Исландия, расположенный на Срединно-Атлантическом хребте. Здесь происходят трещинные излияния, когда на тектонических разломах появляются линейно расположенные небольшие вулканические центры, из которых изливается базальтовая лава. Самым знаменитым щитовым вулканом Исландии является Лаки в Национальном парке Скафтафедль. Лаки представлен цепью из более чем 110–115 кратеров высотой до 818 м (относительная высота лавовых конусов над базальтовым покровом 80–90 м), протянувшейся на 25 км, с центром на вулкане Гримсвотн, и включающей каньон Элдгья и вулкан Катла².

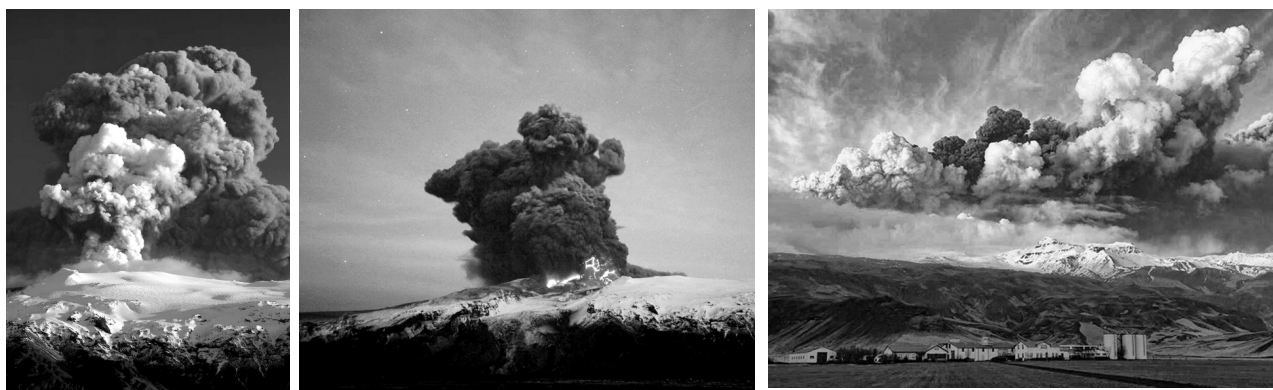
Известность вулкана Лаки определена трагическими событиями. В 1783–1784 гг. произошло мощное его извержение, которое привело к крупнейшей за всю историю Исландии национальной катастрофе, т.к. от прямых и косвенных последствий извержения погибло свыше одной пятой всего населения острова и подавляющая часть поголовья скота (половина коров и до 80% лошадей и овец). Извержение началось после 8 дней сильных землетрясений. Сначала серия мощных взрывов выбросила в воздух огромные тучи пепла, который выпал даже на полях Норвегии и Шотландии. 11 июня из 22 центров на трещине Лаки одновременно началось истечение лавы, которая быстро заполнила долины рек на протяжении десятков (до 80) километров. Средняя толщина потока составила 30 м, объем излившейся лавы – 15 куб. км, погребенная территория – 565 кв. км. Раскаленная лава растопила многочисленные ледники и одновременно запрудила долины рек, огромные территории оказались под водой. Летом над страной завис «голубой туман» – облака ядовитых вулканических газов. Пастбища были засыпаны толстым слоем вулканического пепла³.

¹Апродов В.А. Вулканы. М.: Мысль, 1982.

² Вулкан Лаки: катастрофическое извержение 1783–1784 годов [Электронный ресурс] // Vulkania.Ru. 2015. 21 авг. Режим доступа: <http://vulkania.ru/interesnyie-fakty/vulkan-laki-katastroficheskoe-izverzhenie-1783-1784-godov.html>.

³ Петрография...; Раст Х. Указ. соч.

Следует оговориться, что на о. Исландия много ледников и снежников, которые часто перекрывают вулканические постройки. При извержении лед и снег интенсивно тают, и добавка воды не только генерирует наводнения, но и существенным образом оказывает влияние на характер самого извержения, которые называются фреотическими. Ярким примером является недавнее извержение вулкана Эйяфьядлайёкюдль¹, которое началось 20 марта 2010 г., а максимальной силы достигло 15–16 апреля, когда высота выброса пепла достигла 13 км, что над данным местом соответствует уже стратосферным высотам. Так вот в этом извержении значительную роль сыграли взрывы перегретого пара, который образовался под крышкой ледника. Контакт раскаленной магмы со льдом также способствует образованию пепловых частиц при закалке магмы и дальнейшей дезинтеграции при взрыве закалочных стеклянных корок.



Вулкан Эйяфьядлайёкюдль во время извержения 2010 г. (слева и в центре) и после него (справа)
Фото с сайтов <http://katastrofa.h12.ru/Eyjafjallajokull.htm> и <http://www.netlore.ru/Eyjafjallajokull>

Из-за высокой концентрации вулканического пепла в воздухе 15 апреля 2010 г. (пепловое облако поднималось на высоту 6 км) с полудня прекратили свою работу все аэропорты Великобритании, с 21:00 по московскому времени были закрыты аэропорты Дании. Всего по Европе 15 апреля 2010 г. было отменено от 5 до 6 тысяч рейсов. При этом воздушное пространство самой Исландии и её аэропорты оставались открытыми. Были отложены на неопределённый срок рейсы в Европу (в том числе и в Москву) из стран Америки и Азии (США, Китай, Япония). По подсчётам Международной ассоциации воздушного транспорта ежедневные потери авиакомпаний от отмены рейсов составляли не менее 200 млн. долларов². Собственно, благодаря транспортному коллапсу, вызванному пепловым облаком над Европой это извержение и получило широкую известность, хотя по нашему мнению, высказанному в интервью³, чрезвычайной опасности оно не представляло.

Вулканизм зон геодинамического сжатия

Классической ареной его действия является Тихоокеанская зона перехода континент-океан. Обилие вулканов в ней позволило назвать ее Тихоокеанским огненным кольцом. В пределах России оно представлено Курило-Камчатской вулканической зоной, протянувшейся более чем на 2000 км с юга на север. В Камчатской части насчитывается 20 действующих вулканов, в пределах Курильской островной дуги – 37 и в акватории островов более 100 подводных вулканов.

Полевому изучению вулканов Камчатки и Курил автор посвятил 14 сезонов с 1979 по 1992 гг. Нам удалось показать⁴, что в этом регионе тип развития вулкана, состав вулканических продуктов и характер извержений зависят от тектонического положения вулканической постройки. Было выделено два типа вулканов: М (мантийные) – приурочены к узлам пересечения островной дуги и субмеридиональных глубинных разломов.

Относительно повышенная проницаемость земной коры в зонах разломов позволяет базальтовой магме относительно свободно и спокойно подниматься к поверхности. Вулканами М-типа на Курилах являются Алаид, Эбеко, Мильна, Тятя. Представлены они основными породами – базальтами и андези-

¹ Извержение вулкана Эйяфьядлайёкюдль (2010) [Электронный ресурс] // Википедия. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Извержение_вулкана_Эйяфьядлайёкюдль_\(2010\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Извержение_вулкана_Эйяфьядлайёкюдль_(2010)).

² Там же.

³ Пичугина Т.Б. Вулкан в Исландии продолжает извергаться [Электронный ресурс] // Наука и технологии РФ. 2010. 19 апр. Режим доступа: http://www.strf.ru/material.aspx?CatalogId=222&d_no=29488#.WQOE99wlGos

⁴ Сывороткин В.Л. Коровые вулканы Курило-Камчатской дуги; Сывороткин В.Л., Русинова С.В., Дриль С.И. Роль геодинамического режима в формировании четвертичных вулканитов Курильской островной дуги // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 1990. № 5. С. 91–96.

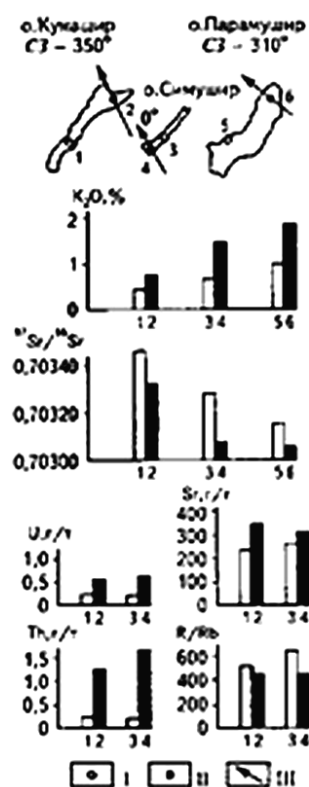


Рис. 2. Петрохимические параметры К- и М-вулканов Курильской дуги.

I – К-вулканы: Менделеева, 3 – Заварицкого, 5 – Чикурачки; II – М-вулканы: 2 – Тятя, 4 – Мильна, 6 – Эбеко; III – азимут океанического разлома.

ефа, она может заполнять лощины, «взлетать» на возвышенности, т.к. вероятно перемещается на подушке из раскаленных газов.

Большинство самых опасных взрывных извержений в мире связано именно с К-типом вулканов. Примеры последних десятилетий – Безымянный на Камчатке (1955–1956), Сент-Хеленс на Аляске, погибло 57 чел. (1980); Эль-Чичон в Мексике (1982) – 2000 чел., Пинатубо на Филиппинах (1991), массовая эвакуация жертв нет.

К этому же типу относятся и знаменитые исторические извержения – вулкана Санторин, погубившего средиземноморскую минойскую цивилизацию³ и вулкана Везувий, уничтожившего несколько древнеримских городов в 79 г. Во время этого извержения погиб от отравления вулканическими газами автор знаменитой 37-томной «Естественной истории» Плиний Старший. Его племянник Плиний Младший описал обстоятельства его гибели в своих письмах, опубликованных через много лет после этих событий.

Мощный взрыв Везувия породил облако камней, пепла и дыма, легкая часть которого поднялась на высоту порядка 31 км, а более тяжелая быстрым потоком устремилось по склонам к городам, лежащим у подножья. Как показали археологические находки, после взрыва погибло около 16 тысяч человек, причем города Стабии и Помпеи были практически полностью накрыты вулканическим пеплом, пирокластический поток был так сильно насыщен газами, что во время его схода на населенные пункты многие здания были плотно запечатаны, и жертвы сохранились неразложившимися, застыв в пепле. Герку-

то-базальтами, редко андезитами. Извержения проходят в виде лавовых потоков или пирокластических (пепел, шлак) выбросов. Чрезвычайной угрозы для населения не представляют (рис. 2).

Другая группа вулканов – К (коровые или кальдерные). Они также имеют исходный мантийный очаг, но так как расположены вне зоны поперечных разломов, то путь магмы к поверхности затруднен. Возникает цепочка разноточинных очагов, включая и приповерхностные малоглубинные, так называемые периферические очаги, расположенные на глубинах в несколько километров. В этих очагах проходит длительная эволюция первичной базальтовой магмы с постепенным накоплением газов в опустошенном малоглубинном очаге. Т.е. вулканический очаг опустошается за счет давления поступающих с больших глубин газов, как жидкость в пульверизаторе. К вулканам К-типа относятся Ильинский, Камбальный на Камчатке, Чикурачки, Заварицкого, Менделеева¹, Головнина на Курилах (рис. 2).

Сначала, когда периферический очаг К-вулкана переполнен базальтовой магмой для ее извержения на поверхность требуется относительно небольшое флюидное давление, но по мере опустошения очага для выброса последующих порций магмы требуется все большее давление газов. В конце концов остатки расплава в очаге под воздействием сильного флюидного давления ликвидируют, т.е. разделяются на две несмешивающиеся жидкости, последующее нагнетание глубинных газов приводит к взрыву очага и вулканического конуса над ним. Остатки постройки проваливаются в опустошенный очаг, так образуется кальдера. Предельным ликвидационным продуктом таких финальных извержений является дацитовая пемза.

Если же очаг К-вулкана взрывается до ликвидационного разделения остаточной андезиодацитового магмы на пемзы и алливалитовые нодули², то на поверхность выбрасывается среднекислая по составу, но сильно флюидизированная, т.е. насыщенная газами, лава, которая может образовывать «палящие тучи», – самый опасный тип извержения. Из-за большой газонасыщенности они становятся очень подвижными и, вырываясь из жерла вулкана, скатываются по его склону с огромной скоростью, как огненная лавина. При этом эта лава на своем пути игнорирует формы рельефа, она может заполнять лощины, «взлетать» на возвышенности, т.к. вероятно перемещается на подушке из раскаленных газов.

¹ Сывороткин В.Л., Сазонова Л.В., Подгорнова С.Т. О строении вулкана Менделеева (Курильские острова) и генезисе его пород [Электронный ресурс] // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. 2012. Т. 1. Вып. 1: Система планета Земля. Режим доступа: <http://e-almanac.space-time.ru/assets/files/rubrl-kora-mantiya-yadro-statya2-syvorotkinsazonovapodgornova-2012.pdf>.

² Сывороткин В.Л. Ликвидационная природа алливалитовых нодул в дацитовых пемзах вулкана Заварицкого на Курилах // Известия АН СССР. Серия Геология. 1991. № 3. С. 142–146.

³ Геворкян С.Г. Великое минойское извержение вулкана Санторин и его последствия // Пространство и Время. 2011. № 2. С. 138–144.

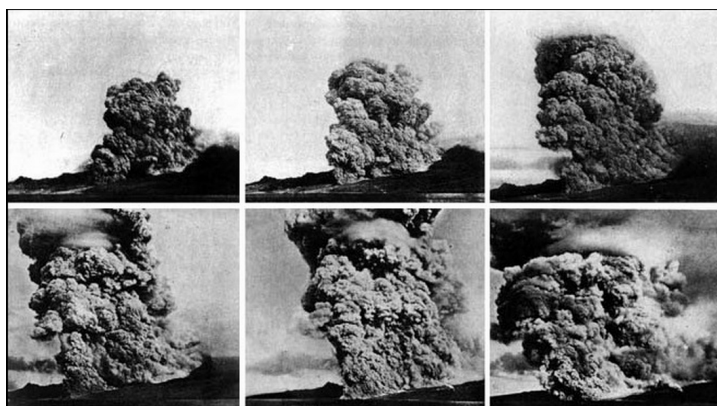
ланум же был залит лахаром – грязевым потоком, который сформировался из вулканического пепла, смытого сильным дождем, сопутствовавшим извержению.

Самым ярким и жутким примером извержения типа «палящей тучи», также относящейся к типу К-вулканов, является извержение вулкана Мон-Пеле на острове Мартиника (Малые Антильские острова). Оно стало причиной одной из самых тяжелых катастроф исторической эпохи. В результате мощного взрыва этого вулкана утром 8 мая 1902 г. был уничтожен самый крупный и красивый город Малых Антильских островов Сен-Пьер вместе с его населением – почти 30000 жителей.

Весной 1902 г. поведение горы Мон-Пеле стало несколько необычным. 23 апреля на город выпал небольшой пепловый дождь, сопровождаемый запахом серы. Начались подземные толчки. В последующие дни пеплопад усилился и блокировал некоторые улицы Сен-Пьера, что привело к закрытию ряда предприятий. Сильный гул вулкана, продолжающееся выпадение пепла и распространение ядовитых газов, от которых задыхались птицы и животные, вызвали замешательство среди населения. Многие из жителей, охваченные страхом, стали покидать город, однако их место занимали беженцы, устремившиеся в Сен-Пьер из окрестностей. Однако в ночь на 8 мая сила извержений угрожающе возросла. Купол горы казался охваченным пламенем, и оглушительный грохот поверг многочисленных жителей в панический страх. Утром 8 мая наступило резкое, почти жуткое затишье. Затем начался настоящий ад. Со страшным грохотом треснула вершина горы, и наружу вырвалась огромная палящая туча – огненная стена, с невообразимой скоростью помчавшаяся вниз по склону. За несколько секунд она достигла города, и Сен-Пьер исчез в ее пламени. Массы людей, спешивших к гавани, давлением палящей тучи были сброшены в море, которое стало закипать. Корабли, стоявшие в гавани, опрокидывались или сгорали¹.



Помпеи. Застывшие в пепле жертвы извержения Везувия 79 года. Фото с сайта <https://historyporn.d3.ru/gipsovye-ostanki-zhitelei-pompei-naidennye-v-1863-godu-710494/?sorting=rating>



Извержение вулкана Мон-Пеле. Фото А. Лакруа, 1902 г.



Город Сен-Пьер после извержения вулкана Мон-Пеле. Фото 1902 г.

Во второй половине дня в гавань Сен-Пьера вошел французский крейсер «Суше». Его команда осмотрела разрушенный город, но обнаружила лишь скорчившиеся трупы, одежда которых была обуглена. Некоторые из них обгорели полностью, другие выглядели почти невредимыми. У всех руки были прижаты ко рту. Из жителей Сен-Пьера остались в живых лишь двое. Один – заключенный местной тюрьмы, сидевший в перекрытой каменным сводом тюремной камере, зарешеченное окно которой было обращено в обратную сторону от ударного фронта палящей тучи. Вторым, сапожник по профессии, пережил катастрофу в своем доме, спрятавшись под столом, в то время как несколько других лиц, находившихся в том же помещении, погибли.

А днем раньше на расположенном неподалеку острове Сент-Винсент начал действовать вулкан Суфриер, также причинивший большой материальный ущерб и унесший за несколько минут более 1600 жизней. Таким образом, почти одновременно в одном и том же районе произошло два вулканических извержения катастрофических размеров.

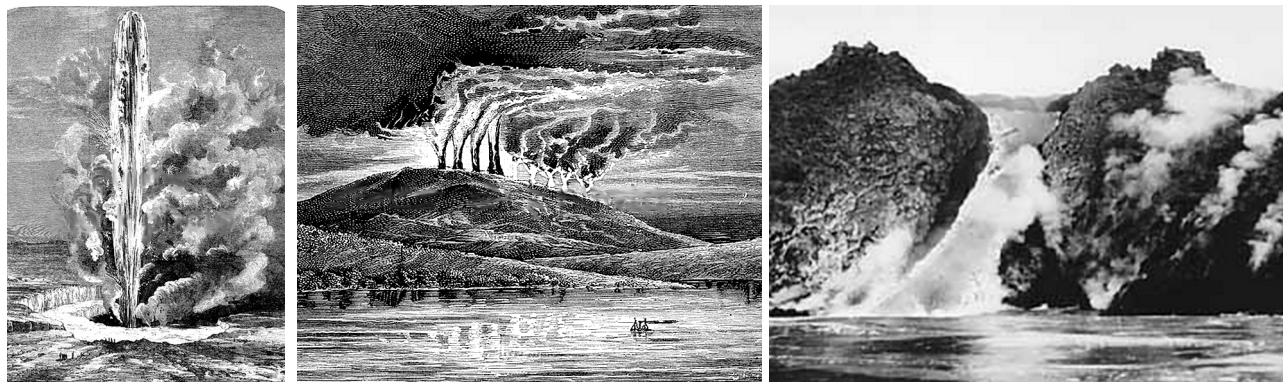
¹ Раст Х. Указ. соч.

Вулканизм зон глубинного магматизма, проявленный на океанических островах и в континентальных рифтах – вулканизм «горячих точек»

Этот тип вулканов состоит из двух резко различных по геологическому и географическому положению групп: а) вулканов океанских островов и б) вулканов внутриконтинентальных рифтов. Но объединяет их приуроченность к так называемым «горячим точкам» планеты – аномальным районам Земли, где наблюдается длительная (до миллиарда лет) история вулканизма.

Обе группы имеют сходные черты в характере извержений, и мы их рассмотрим вместе. Объединяет их большая по сравнению с ранее рассмотренными типами глубинность очагов. Есть основания полагать, что газовые потоки, их формирующие поднимаются от границы внешнего ядра, т.е. с глубин 2900 км. В глубоких очагах активно идут процессы кислотно-основного взаимодействия между вмещающими породами, магмой и флюидом. При этом флюиды обогащаются кремнеземом, а магмы – калием, что находит выражение в повышении щелочности вулканических продуктов. Особенности химизма соответственно транслируются в специфику минерального состава вулканитов и реологические свойства магмы.

Вулканы океанских островов. Классическим примером являются вулканы Гавайского архипелага. Самый крупный из действующих здесь вулканов – Мауна-Лоа – один из пяти вулканов, образующих остров Гавайи. Имея объем около 80 000 куб. м, он является крупнейшим субаэральным вулканом мира. При ширине 120 км Мауна-Лоа занимает площадь 5271 кв. км, что составляет более половины территории Гавайев. Высота его вершины – 4169 м над уровнем моря, однако значительная часть вулкана находится под водой. В общей сложности его высота от основания до пика достигает 9170 м, превышая Эверест на 322 м. В целом его возраст составляет от 0,7 до 1 млн лет, но из воды он поднялся только около 400 тысяч лет назад. По типу Мауна-Лоа относится к щитовым вулканам и отличается пологими склонами, плавно уходящими в океан. Три кратера горы находятся в провальной кальдере Моку, образованной 1–1,5 тысячи лет назад. Создана она была во время извержения в северной «рифтовой»¹ зоне вулкана, во время которого был обрушен опустошенный магматический очаг. Извержения вулкана характеризуются излиянием жидкой лавы без взрывов и пирокластических потоков. Старейшее из них произошло примерно 200 тысяч лет назад. С 1832 г. Мауна-Лоа извергался 39 раз, причем во время извержения 1950 г. в его юго-западной «рифтовой» зоне произошел крупнейший раскол за всю историю вулкана².



Извержения вулкана Мауна-Лоа: гравюры 1872 г. (слева) и 1875 г. (в центре) и фотография 1950 г. (справа)
 С сайтов <http://www.mmgointage.com/antique-engraving-volcanic-eruption-of-mauna-loa-sandwich-islands-akq-730/>,
<http://www.alamy.com/stock-photo-volcanoes-hawaii-c1875-neruption-of-mauna-loa-hawaii-sandwich-islands-95472120.html> и
https://hvo.wr.usgs.gov/maunaloa/history/50_06_01/

Базальтовые магмы гавайских вулканов отличаются текучестью. Длина отдельных лавовых потоков достигает 50 км при ширине до 2,5 км, т.е. практически, мы имеем дело с реками жидкой лавы, скорость которых может достигать 60 км/час! Здесь, на влк. Килауэа, один из потоков прослеживается на расстояние 6,5 км при толщине всего несколько сантиметров³.

Вулканы континентальных рифтов. В качестве представителя этой группы приведем описание африканского вулкана Ньярагонго, расположенного в горах Вирунга (Конго). Ньярагонго имеет форму широкого и правильного усеченного конуса и своим основанием сливается с другим вулка-

¹ Термин «рифтовая» зона нами взят в кавычки, т.к. на данном вулкане он используется для обозначения тектонически ослабленных зон – разломов. К настоящим рифтовым зонам, о которых говорилось в нашей работе эти структуры отношения не имеют.

² Вулкан Мауна-Лоа [Электронный ресурс] // Vulkania.Ru. 2015. 27 июня. Режим доступа: <http://vulkania.ru/vulkanyi/vulkanyi-severnoy-i-tsentralnoy-ameriki/vulkan-mauna-loa.html>.

³ Петрография...

ном Ньямлагира. Из всех наблюдаемых извержений Африки на эти вулканы приходится около 40% вулканической активности континента. На вершине Ньярагонго находится колодеобразный главный кратер диаметром 2000 м и глубиной 250 м. На северных и южных склонах вулкана заметны два боковых и более древних вторичных кратера – Барату (3100 м) и Шахеру (2800 м). На склонах вулкана сотни небольших конусов из пепла, образованных в результате боковых извержений. В кратере четко выделены две остывшие лавовые террасы на высоте 2975 и 3175 м. На дне главного кратера плещется огненными всполохами лавовое озеро – самое обширное в современной истории: его объем – 76 млн куб. м. Глубина озера неустойчива – около 600 м. Температура лавы достигает 980–1200°C, а всплески ее поднимаются на высоту от 7 до 30 м.

С 1882 г. было зарегистрировано 34 извержения, в том числе были периоды, когда активность Ньярагонго не прерывалась в течение многих лет, что проявлялось в виде кипящей в кратере озера лавы. Самые заметные извержения последнего времени произошли в 1977 и 2002 гг. В 1977 г. стены кратера обрушились, лава устремилась вниз по склону со скоростью около 100 км/ч, и озеро опустело менее чем за 60 мин. Лава накрыла несколько деревень, унеся жизни 70 чел. При извержении 2002 г. в районе южного склона вулкана образовалась 13-километровая трещина. Поток лавы шириной от 200 до 1000 м хлынул на миллионный город Гома. 400 тыс. чел. были срочно эвакуированы. Лава залила полосы международного аэропорта, добралась до озера Киву и остановилась. 147 человек задохнулись от ядовитых испарений и погибли под руинами домов. 14 тыс. зданий в Гома были разрушены, 350 тыс. человек лишились крова. Это извержение стало самым разрушительным в новейшей истории¹.



Извержение вулкана Ньярагонго, 2002 г. (слева) и залитая лавой улица города Гома после извержения (справа)
Фото с сайта <http://www.wsource.me/mount-nyiragongo-eruption-2002.html>

У вулканов «горячих точек» есть специфические черты, характерные для них и крайне редкие для вулканов других типов. Выше были названы – большая глубина очагов, повышенное содержание щелочных элементов, особенно калия, феноменальная текучесть лавы. Они отличаются интенсивной современной вулканической деятельностью, которая сопровождается потоками восстановленных озоноразрушающих газов, выбросы которых приводят к разрушению озонового слоя над ними² (рис. 3).

Важная особенность газовых потоков в этих вулканах – очень высокие отношения изотопов гелия $^3\text{He}/^4\text{He}$, равные $n \cdot 10^{-5}$, что указывает на глубинную природу газовых потоков и (или) молодость дегазирующей системы. Самая яркая особенность вулканов «горячих точек», – лавовые озера. Этот чрезвычайно редкий природный феномен лучше всего проявлен в только что описанном вулкане Ньярагонго, а кроме того, обнаружен на Гавайях (влк. Килауза), в Антарктиде (Эребус), возле Красного моря (Эрта-Але), на Азорских островах (влк. Капельиниш). Сам факт существования таких озер, особенно в

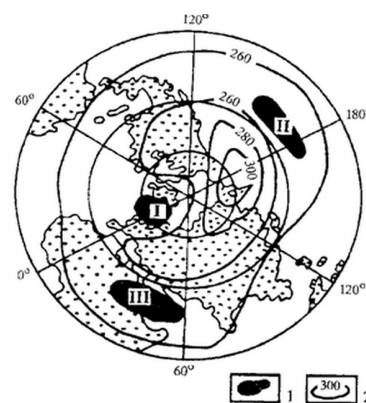


Рис. 3. Области минимального содержания озона в атмосфере Северного полушария Земли в октябре (усредненные данные мировой сети озонметрических станций по В.И. Бекорюкову и др.)³: 1 – области минимального содержания озона: I – Исландия, II – Гавайские острова, III – Красное море; 2 – общее содержание озона в единицах Добсона.

¹ Вулкан Ньярагонго – формирование новой горячей точки [Электронный ресурс] // Vulkania.Ru. 2015. 9 нояб. Режим доступа: <http://vulkania.ru/interesnyie-fakty/vulkan-nyiragongo-formirovanie-novoy-goryachey-tochki.html>.

² Сывороткин В.Л. Дегазация Земли и разрушение озонового слоя // Природа. 1993. № 9. С. 35–45.

³ Вулкан Ньярагонго – формирование новой горячей точки...

Антарктиде при очень низких температурах, указывает на интенсивную водородную продувку магматических каналов.

Здесь необходимо вернуться к о. Исландии. Мы говорили о нем в связи с трещинными извержениями, свойственными океанским рифтовым структурам. Однако Исландия является и океанским островом, возникшим над «горячей точкой» планеты, поэтому часть ее вулканов несет все вышеперечисленные черты этого типа вулканов.

Йеллоустонский «супервулкан». Выделен нами в силу своей нездоровой известности, приобретенной усилиями СМИ. На наших глазах выдуман и «раскручен» миф о чрезвычайной, неминуемой угрозе колоссальной силы взрыва Йеллоустонского «супервулкана».



Йеллоустонская кольцевая структура. Фото с сайта <https://phys.org/news/2011-04-scientists-volcanic-plume-yellowstone.html>

В нашей классификации Йеллоустонская кольцевая структура попадает в последний раздел – вулканизм «горячих точек». Принадлежит она крайне интересной в геотектоническом отношении зоне продолжения Восточно-Тихоокеанского рифта внутрь Северо-Американского континента, что показано на рис. 1. Этим обстоятельством определяются особенности этой зоны: высокий тепловой поток, неглубокое для континентальной коры залегание границы Мохо, сейсмическая, вулканическая и парогидротермальная активности, повышенные потоки восстановленных озоноразрушающих газов, высокие гелиевые отношения, т.е. все признаки современных рифтовых систем и «горячих точек». Отсюда также ясна перспектива геологического развития этого региона,

а именно, нарастание эндогенной активности, которая постепенно (в геологическом масштабе времени) смещается из Южного полушария в Северное. Пути продвижения этой активности к северу – меридиональные рифтовые зоны.

Однако называть Йеллоустонскую структуру супервулканом, вулканом или даже кальдерой, с точки зрения автора, нельзя. Это кольцевая вулканогенная структура размером 55×72 км. Подобные кольцевые структуры давно известны и довольно хорошо изучены¹. Близким, известным автору, аналогом ее, является Паужетская вулcano-тектоническая кольцевая структура на Камчатке.

Вулканизм, связанный с такими структурами, разнообразный, пестрый по составу от риолитовых пемз, до базальтовых плато. Продуцируется действительно мантийными процессами, однако самые обильные кислые магмы на поверхности изливаются из большого количества небольших центров. Излияния эти не представляют существенной угрозы даже регионального масштаба, а говорить о планетарном масштабе ожидаемой катастрофы, по нашему мнению, не приходится.

Термин «супервулкан» использован впервые телевизионщиками BBC в 2000 г. в научно-популярном документальном телесериале². Научного смысла в нем нет. Придумал его дилетант. К сожалению, термин подхвачен вулканологами, которые выделили еще десятка два «супервулканов». Тут чувствуется какой-то арифметический бухгалтерский подход, – вычисляется объем кольцевой вулканогенной палеоструктуры и приравнивается к объему выброса якобы разового взрывного извержения, что является грубой ошибкой.

Прогноз вулканических извержений

После того как мы познакомились с типами вулканизма и их наиболее яркими примерами, уместно подвести итоги и задаться вопросом: «Какие вулканы самые опасные?». Ответ очевиден и лежит за рамками научных изысканий. Наиболее опасны вулканы, расположенные в непосредственной близости от человеческих поселений, а таковых на удивление много. Вулканические почвы плодородны, и человек издревле селился на склонах гор, часто и не подозревая, что строит жилище на склонах вулканов. Выше мы рассказали об извержении Везувия, погубившего в 79 г. несколько римских городов. До этого извержения вулкан молчал на протяжении исторического времени. В 1943 г. в Мексике вулкан Парикутин возник на кукурузном поле, прямо на глазах изумленного хо-

¹ Делемень И.Ф. Кольцевые структуры как индикаторы глубинного строения современных гидротермальных систем Камчатки. Автореф. дисс. ... к. г.-м. н. Владивосток, 1998.

² Йеллоустонская кальдера [Электронный ресурс] // Википедия. Своя энциклопедия. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Йеллоустонская_кальдера.

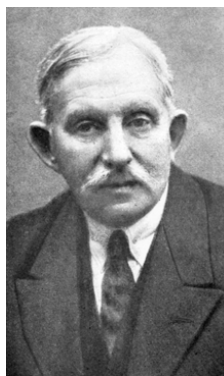
зияна. В первые две недели его деятельности он извергал ежедневно до 10 млн т. пирокластов (вулканических обломков различной размерности) и до 650 тыс т. базальтовой лавы. Извергался непрерывно 9 лет, за это время его жидкие лавы погребли несколько деревень¹. В Индонезии число вулканов и жителей столь велико, что им просто приходится сосуществовать рядом, рискуя и жертвуя тысячами жизней людей.

По тем или иным причинам, но человек живет рядом с вулканами и от них страдает, поэтому проблема прогноза вулканической опасности актуальна всегда. Еще в позапрошлом столетии в отдельных вулканических областях начали проводить систематические наблюдения за вулканами.

В 1842 г. была организована вулканологическая обсерватория на Везувии. Позднее такие обсерватории появились на вулканах Этна в Сицилии, Мауна-Лоа на Гавайях, в Японии, Индонезии... В СССР постановление об организации вулканологической станции на Камчатке было принято на заседании Президиума АН СССР 11 января 1934 г. по предложению известного петрографа академика Ф.Ю. Левинсона-Лессинга. В августе 1935 г. в пос. Ключи прибыл вулканологический отряд во главе с В.И. Влодавцем. Отряду было поручено строительство Камчатской вулканологической станции. В 1943 г. Постановлением Президиума АН СССР Камчатская вулканологическая станция была преобразована в Лабораторию вулканологии с Вулканологической станцией на Камчатке. Создателем Лаборатории был академик А.Н. Заварицкий².



Камчатская вулканологическая станция. 1936 г.
Фото с сайта http://www.kscnet.ru/ivs/lkamv/kamchat_volc_station/index.html



Франц Юльевич
Левинсон-Лессинг
(1861–1939), геолог,
петрограф, академик
АН СССР (1925).
Фото 1934



Владимир Иванович
Влодавец (1893–
1993), геолог, петро-
граф, вулканолог



Александр Никола-
евич Заварицкий
(1884–1952), геолог,
петрограф, акаде-
мик АН СССР
(1939)

Современная вулканология имеет в арсенале много научных методов прогноза вулканического извержения. Перечислим некоторые из них: геодезический, сейсмический, геомагнитный, геохимический, астрономический и, самые главные – геологический и петрологический, неразрывно связанные между собой.

Геодезические измерения на вулканах. В 1913 г. при исследованиях на Гавайской обсерватории было установлено, что высотные отметки склонов вулканов постоянно изменяются от несколько сантиметров до первых метров. Причина этого очевидна, при выделении газов, тем более подъеме магмы происходит деформация склонов вулкана. Измерения наклонометром, проведенные в 1956 г. на гавайском вулкане Килауэа, позволили установить, что деформации поверхности имеют циклический характер. Перед извержением происходит вспучивание, постепенное сводовое вздымание, а в ходе извержения как бы оседание и возвращение на прежнее место. Наблюдения подобного рода привели к выводу о том, что сводовое вздымание вызывается медленным заполнением очага. Такие явления могут, естественно, служить хорошими предпосылками для предсказания будущих извержений методами надзора³.

Сейсмические наблюдения. В настоящее время являются наиболее надежным методом предсказания грядущего извержения. Физическая суть процесса очевидна. Продвижение магмы по магмоподводящим каналам вызывает «сейсмическое дрожание» почвы, которое может фиксироваться специальными чувствительными сейсмографами. Современный уровень развития техники позволяет

¹ Апродов В.А. Указ. соч.

² Камчатская вулканологическая станция, история создания и развития [Электронный ресурс] // Камчатский научный центр. Дальневосточное отделение Российской академии наук. Режим доступа: http://www.kscnet.ru/ivs/lkamv/kamchat_volc_station/index.html.

³ Раст Х. Указ. соч.

передавать эти сигналы через спутники в аналитические центры, т.е. вести наблюдения в режиме реального времени.

Наиболее длинный временной ряд сейсмических наблюдений получен на японском вулкане Асама. Наблюдения, проведенные в течение 80 лет, позволили уже сравнительно давно выявить эмпирические связи между числом подземных толчков в предшествующем ряде землетрясений и вероятностью извержений. Важное значение для прогноза имеет изучение характера землетрясений, происходящих перед извержением. Этот параметр выражается в форме записи на сейсмограмме.



Сейсмическая станция Апахончич на юго-восточном склоне Ключевского вулкана. 1982 г. Фото с сайта http://ai-malyshev.narod.ru/Apakh/Apakhonchich_Ru.html



Павел Иванович Токарев (1925–1990), геофизик-сейсмолог

Еще в середине прошлого века сотрудникам Института вулканологии ДВО АН СССР в г. Петропавловске-Камчатском под руководством сейсмолога П.И. Токарева удалось выявить математически значимую зависимость между характером сейсмических событий и экспериментальных данных по деформациям поверхности вулкана. Под его руководством возле Ключевской группы вулканов открылись еще две сейсмические станции – «Козыревская» и «Апахончич». На основе сейсмонаблюдений сотрудников этих станций Па-

вел Иванович предсказал извержения вулкана Безымянный (1959, 1960 и 1961 гг.), а в 1964 г. – катастрофическое извержение вулкана Шивелуч, когда на поверхность Земли были выброшены сотни тысяч тонн вулканических пород¹.

В 1975 г. П.И. Токарев дал точный прогноз места и времени Большого трещинного Толбачинского извержения. Этот сбывшийся (6 июля 1975 г.) прогноз стал триумфом советских вулканологов. Самое замечательное в данном событии было то, что извержение это оказалось крупнейшим за исторический период в области Камчатско-Курильского региона с объемом извергнутой лавы и рыхлых продуктов свыше 2 км³. Долгосрочный и точный прогноз² позволил организовать выезд большого числа специалистов к месту события и всестороннее изучить это уникальное событие с момента начала и до завершения весной 1976 г.³. Были сняты документальные фильмы, изданы прекрасные фотоальбомы⁴.

Газогеохимические исследования. В эту группу попадает целый комплекс методов и методик изучения химических и физических (температура) параметров газов и вод выделяющихся из кратеров вулканов или из фумарол и гидротермальных источников на их склонах. Исследования, проведенные вулканологом Нейманом ван Падангом на некоторых вулканах Индонезии, показали, что перед извержениями отмечалось значительное возрастание температуры фумарол. Японский вулканолог Танеда на вулкане Асо в течение долгого времени наблюдал колебания температур, причем оказалось, что активизация вулканической деятельности сопровождается прежде всего повышением температуры газов. Если пройден некоторый максимум и температура начинает вновь снижаться, то через два или три дня возможно извержение. На вулкане Тааль (Филиппины) перед очень сильным эксплозивным извержением 1965 г. также было установлено значительное повышение температуры воды в озере, расположенном в одном из кратеров⁵.

Собственно геохимические исследования включают изучение состава вулканических газов и вод. Из химических элементов особенно информативны в отношении усиления вулканической активности сера и хлор, а также их количественное соотношение. Явный отклик на изменение вулканической активности дают и соотношения изотопов серы в фумарольных струях. Эти результаты были получены на вулканах Камчатки (Ключевская Сопка, Безымянный, Шивелуч) и Курильских островов (Эбеко, Заварицкого, Менделеева). Долгие годы в СССР лидером этих исследований была С.И. Набоко⁶. Из-

¹ Камчатская вулканологическая станция...

² Токарев П.И. Долгосрочный прогноз извержений вулканов // Вулканология и сейсмология. 1979. № 3. С. 77–90.

³ Федотов С.А., Мархинин Е.К. (ред.). Геологические и геофизические данные о Большом трещинном Толбачинском извержении 1975–1976 гг. М.: Наука, 1978.

⁴ Гипенрейтер В. Рождение вулкана М.: Планета, 1979.

⁵ Раст Х. Указ. соч.

⁶ Список работ Набоко С.И. [Электронный ресурс] // Камчатский научный центр. Дальневосточное отделение Российской академии наук. Режим доступа: <http://www.ksnet.ru/ivs/bibl/sotrudn/naboko.htm>.

вестным специалистом в области геохимии вулканических газов был ее сын И.А. Меняйлов, трагически погибший в 1993 г. при отборе проб газа в кратере вулкана Галерос в Колумбии. Причиной гибели группы, состоящей из шести вулканологов и трех туристов, стало внезапно начавшееся извержение.

Неоценимый вклад в изучение температурного и газового режима вулканических извержений внесли исследования Г. Тазиева, охватившие всю планету¹. Кстати, в указанной книге ее автор описывает случай на вулкане Суфриер, когда он со своей группой попал под камнепад, вызванный внезапным фреатическим выбросом из кратера. К счастью, все остались живы, хотя, лежа 13 минут под камнепадом, этот великий вулканолог считал свою смерть неминуемой.

Космические методы мониторинга вулканопасных территорий появились относительно недавно. На борт исследовательских искусственных спутников Земли принимаются данные со всевозможных датчиков, установленных на опасных вулканах, кроме того, проводится постоянное фотографирование вулканов в различных спектрах². Особо информативен для прогноза инфракрасный спектр, способный своевременно показать начало разогрева вулканической постройки.

Астрономические методы прогноза. Как было сказано выше, вулканизм это проявление процесса глубинной планетарной дегазации, поэтому он откликается на внешнее гравитационное воздействие на нашу планету. Особенно должны влиять на периодичность этого процесса изменения в системе Земля – Луна – Солнце, что и происходит на самом деле³. Давно уже доказана одиннадцатилетняя (солнечная) цикличность вулканических проявлений⁴. Интересную временную закономерность удалось выявить геологу С.В. Белову⁵. На основе статистической обработки большого массива данных⁶ он установил месяц, в котором наиболее часто происходят вулканические извержения. Им оказался июнь, т.е. время прохождения нашей планетой точки афелия, точки изменения знака ускорения при движении по эллиптической орбите. Здесь Земля испытывает некоторое коробление, оживляющее разломные структуры, к которым приурочены вулканические очаги.

Геологические исследования. Особое внимание обращается на выявление частоты и периодичности извержений, которая выявляется в деятельности некоторых вулканов. Так при изучении истории извержений на Гавайских островах удалось установить, что периоды затишья между извержениями Мауна-Лоа с 1832 по 1968 гг. продолжались не менее 2 и не более 210 месяцев. Не подлежит сомнению, что длительность этих пауз варьирует, но она ограничена предельными значениями. Статистические данные указывают на возможность одного извержения приблизительно через каждые 42 месяца. Аналогично поведение вулкана Килауэа⁷.

Крайне важно изучение вулканической постройки и ее истории, с целью выявления ее состояния и развития. Основой такой работы является детальное геологическое картирование вулкана и изучение его стратиграфии, т.е. пространственного взаимоотношения геологических тел, слагающих. Только на такой основе можно и нужно проводить петрологическое и геохимическое опробование. К сожалению, исследователи вулканов эту необходимую, но очень трудоемкую работу игнорируют, обесценивая тем самым результаты вещественного изучения вулканических продуктов. Этот печальный вывод автор сделал на основе собственных наблюдений, однако задолго до него на ту же проблему указывал известный швейцарский вулканолог А. Ритман⁸.

Петрологические методы. Петрологическое изучение вулкана, выполненное на основе его тщательного геологического изучения (см. выше) позволяет определить его тип и алгоритм формирования серий, слагающих его вулкаников. Отсюда делается вывод о стадии развития вулкана и близости наступления опасных фаз его развития.

Выше мы подробно разбирали нашу типизацию вулканов Курило-Камчатской зоны. Мы выявили алгоритм развития вулкана и знаем теперь, какого состава продукты должны извергаться на каждой стадии формирования вулканической серии пород и какой характер извержения следует ожидать. С этих позиций представляется, что на Курильских островах сильное взрывное извержение может произойти на вулкане Чикирачки. Он относится к группе К, и стадии финального взрывного извержения еще не прошел. Успокаивает только то, что вулкан этот находится в ненаселенной части о. Парамушир.

¹ Тазиев Г. На вулканах Суфриер, Эребус, Этна. М.: Мир, 1987.

² Мелкий В.А. Аэрокосмический мониторинг вулканопасных территорий: теория и методы. Автореф. дисс. ... д. т. н. М., 1999.

³ Широков В.А. Влияние 19-летнего лунного прилива на возникновение больших камчатских извержений и землетрясений и их долгосрочный прогноз // Геологические и геофизические данные о Большом трещинном Толбачинском извержении 1975-1976 гг. М.: Наука. 1978. С. 164–170.

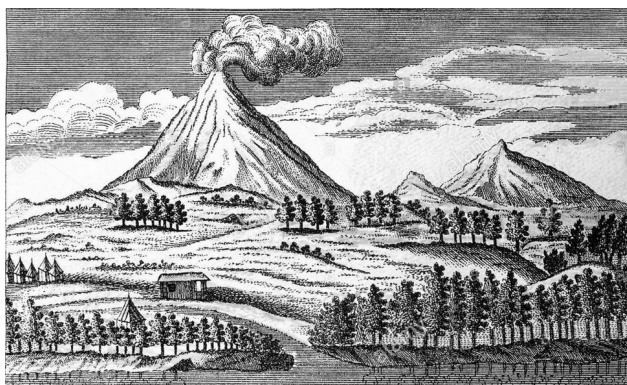
⁴ Чижевский А.Л. Космический пульс жизни. Земля в объятиях Солнца. Гелиотароаксия. М. Мысль. 1995.

⁵ Белов С.В. О периодичности современного и древнего вулканизма // Докл. АН СССР. 1986. Т. 291. № 2. С. 421–425.

⁶ Гущенко И.И. Извержения вулканов мира (Каталог). М.: Наука, 1979.

⁷ Раст Х. Указ. соч.

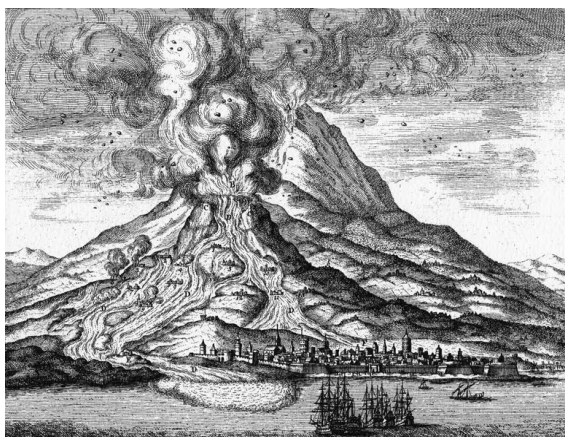
⁸ Ритман А. Вулканы и их деятельность. М.: Мир, 1964.



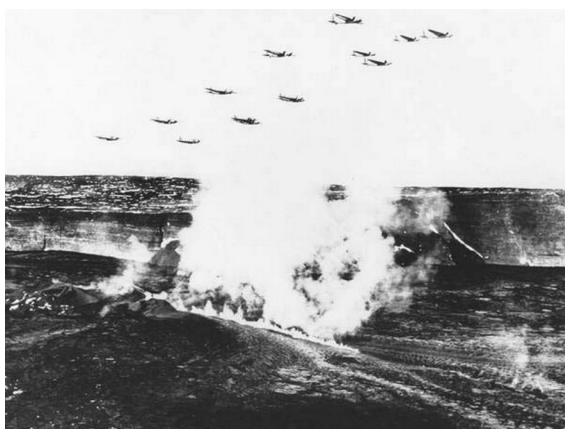
Вулканы на Камчатке. Гравюра XVIII в.

срочные прогнозы пароксизмальных извержений вулканов Безымянного и Шивелуча, эффектные краткосрочные прогнозы извержений Плоского Толбачика, Ключевского, Карымского и Шивелуча. Около двух десятков успешных прогнозов было выдано Камчатским филиалом ГС РАН. Вместе с тем, отмечено большое количество «пропусков цели» и «ложных тревог». В целом эффективность прогнозирования оценивается как сравнительно низкая.

Меры защиты от вулканических извержений



Извержение Этны 1669 г. Гравюра 1670х-гг.
Видно, как поток лавы устремляется в сторону расположенной на побережье Катаньи



Бомбардировка боковой части лавового потока Мауна-Лоа. 1935. Фото с сайта <https://wattsupwiththat.com/2014/08/27/should-we-bomb-icelands-bardarbunga-volcano/>

Подвести итоги разделу о прогнозе вулканических извержений уместно ссылкой на обстоятельную специальную работу камчатского вулканолога В.В. Иванова¹, в которой дана сводка успешных прогнозов, приведены примеры «пропусков цели» и «ложных тревог» для камчатских вулканов за 1956–2012 гг. Дано подробное изложение обстоятельств, связанных с наиболее важными прогнозами. За эти годы Камчатской вулканологической станцией, Институтами вулканологии, вулканической геологии и геохимии, вулканологии и сейсмологии ДВО РАН было выдано 29 успешных прогнозов. В том числе средне-

Исторические хроники донесли до нас известие о попытке активного воздействия на вулкан во время извержения Этны на о. Сицилия в 1669 г. Сначала граждане Катаньи, города на который широким фронтом двигался лавовый поток, попытались соорудить баррикады на его пути. Эта мера оказалась бесполезной, тогда 50 смельчаков под руководством знатного горожанина дона Диего Паппальярдо, завернувшись в мокрые шкуры, пробили ломami и кирками шлаковую корку потока с западной стороны и лава с силой устремилась в другом направлении. Однако теперь она направилась на г. Патерно, откуда к месту «диверсии» срочно выехал вооруженный отряд в 500 воинов и прогнали людей Паппальярдо. Лава в западном проломе вскоре застыла, а поток достиг и разрушил Катанью.

В 1935 г. для отклонения лавового потока Мауна-Лоа, угрожавшего городу-порту Хило (Гавайские острова), была произведена бомбардировка его боковой части. Успех был полным, после бомбометания скорость во фронтальной части потока упала с 250 м/ч до 14 м/ч, а через 18 часов лава остановилась.

В 1955 г. там же на Гавайях при извержении Килауэа в течение 4 ч был сооружен вал протяженностью 300 м и высотой 3 м, что позволило спасти плантацию от уничтожения².

23 января 1973 г. жители портового города Вестманнаэйяр (о. Хеймаэй у южного побережья Исландии) сразились с лавовым потоком, давно молчавшего вулкана Эльдфедль, который к тому времени уничтожил 300 домов и продолжал продвигаться дальше. На склоне его возник разлом длиной 1500 м, откуда вырвалось огромное количество пепла и началось бурное

¹ Иванов В.В. Средне- и краткосрочные прогнозы извержений вулканов на Камчатке (1956–2012 гг.) // Вестник Камчатской региональной организации Учебно-научный Центр. Серия Науки о Земле, 2013. Т. 2. Вып. № 22. С. 98–119.

² Раст Х. Указ. соч.



Извержение вулкана Эльдфедль (Исландия), 1973 г.: слева – портовый город Вестманнаэйяр за год до извержения; в центре – извержение вулкана в непосредственной близости от города; справа – облака пара и пепла над островом через день после извержения вулкана Эльдфедль. Фото с сайтов <http://www.yaplakal.com/forum2/st/0/topic1541714.html> и http://izverzhenie-vulkana.ru/2015/09/izverzhenie_vulkana_eldfedl_v_islandii_1973_386226.html

истечение лавы. Родился новый вулкан. С островка были сразу же эвакуированы 3500 жителей городка Вестманнаэйяр; остались лишь 200 мужчин. Поток лавы угрожал порту, где находились рыбоперерабатывающие заводы, обеспечивающие более 20% экспорта Исландии. Страна оказалась на грани экономической катастрофы. Через город от моря протянули 30 трубопроводов из пластика, и сильные потоки холодной морской воды обрушились на наступающую лаву. Со стороны моря помогали мощные насосы землечерпалки «Сенди». Почти полгода продолжались извержение и борьба с ним. Большую часть города, а главное, порт удалось спасти. Фронт лавового потока остановился¹. Охлажденная при помощи подаваемой насосами морской воды лава, стекавшая в океан и постепенно застывавшая там, увеличила площадь острова, что позволило построить на образовавшейся площадке 200 новых зданий².



После извержения вулкана Эльдфедль, 1973 г.: слева – дома Вестманнаэйяра, засыпанные вулканическим пеплом; справа – жители города охлаждают лаву с помощью морской воды при помощи насосов. Фото с сайтов <http://www.yaplakal.com/forum2/st/0/topic1541714.html> и <https://yooniqimages.com/images/detail/215872269/Creative/volcanic-eruption-buildings-engulfed-in-lava-and-ash-slowing-lava-flow-with-water-eldfell-volcano-heimaey-westmann-isles-iceland-1973-europe>

Весной 1983 г. во время очередного извержения вулкана Этны на Сицилии (началось 28 марта 1983 г.) для отведения потока в новое безопасное для нижележащего селения русло были использованы взрывы тротила. Попытка оказалась удачной, селение было спасено. Столь же успешным было и начатое в мае 1983-го на кратере Монте-Веторе строительство системы укреплений-дамб для защиты туристической инфраструктуры Этны. Силами 2000 строителей на западном крае лавового потока из крупного щебня и каменного лома было построено два барьера-дамбы, 400- и 100-метровые, оба высотой 10 м и шириной 30 м. В итоге поток перевалил через первый барьер превысил второй на 2 м, но так и не повредил туристическую трассу³. Построенные дамбы предотвратили боковое распространение потока лавы в направлении экономически развитых районов острова, и хотя их строи-

¹ Там же.

² Извержение вулкана Эльдфедль в Исландии (1973) [Электронный ресурс] // Вулканы. 2015. 24 сент. Режим доступа: http://izverzhenie-vulkana.ru/2015/09/izverzhenie_vulkana_eldfedl_v_islandii_1973_386226.html.

³ "Successful Lava Diversion, Etna 1983." *Volcano World*. Oregon Space Grant Consortium, Department of Geosciences, Oregon State University, n.d. Web. <http://volcano.oregonstate.edu/vwdocs/volc_images/europe_west_asia/etna_diversion.html>.



Заградительные сооружения на Сицилии во время извержения Этны 1983 года: слева – начало строительства, справа – система двойных барьеров в непосредственной близости от туристического комплекса, вид сверху. Фото с сайта http://volcano.oregonstate.edu/vwdocs/volc_images/europe_west_asia/etna_diversion.html

тельство обошлось в 3 млн долл., ущерб от лавы, если бы данные сооружения так и не были бы построены, мог составить от 5 до 25 млн долл.¹.

Выводы

Отметим, что все приведенные примеры успешного противостояния вулканическому извержению относятся к базальтовым лавовым потокам. Извержениям взрывного типа и «палящим тучам» человек противостоять не может. Выход один – своевременный прогноз и эвакуация. Часто это единственный метод спасения и не только от извержений. Эвакуация требуется при угрозе землетрясений, наводнений, тайфунов, ураганов...

Но! Эвакуация – очень ответственное и дорогое мероприятие. Учитывая, что практически нет стопроцентных методов научного прогноза стихийных бедствий, всегда остается опасность ложной тревоги и неоправданных материальных затрат, связанных с эвакуацией крупного населенного пункта. Обычная человеческая логика подсказывает, что лучше три раза убежать из дома по ложной тревоге, чем один раз погибнуть, но тяжесть принятия организационного решения велика...

В качестве реальной меры повышения точности прогноза особо опасных извержений взрывного типа и «палящих туч», по нашему мнению, нужно проделать систематическую работу по изучению стратиграфии вулканов, расположенных на близком расстоянии от населенных пунктов или инженерных сооружений, их тщательное петрологическое изучение с целью определения стадии развития вулкана и его очага. Такая работа на вулканах планеты в большинстве своем не сделана и представлена лишь единичными работами². Не сделана она и на вулканах Камчатки и Курил. Большинство из них в геологическом, а, значит, и в петрологическом отношении не изучены. Закон развития каждого конкретного вулкана не понят, поэтому долгосрочный осмысленный прогноз невозможен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Апродов В.А. Вулканы. М.: Мысль, 1982.
2. Белов С.В. О периодичности современного и древнего вулканизма // Докл. АН СССР. 1986. Т. 291. № 2. С. 421–425.
3. Викулин А.В., Вольфсон И.Ф., Викулина М.А., Долгая А.А. Цивилизация глазами катастроф: природных и социальных. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2016.
4. Вулкан Лаки: катастрофическое извержение 1783–1784 годов [Электронный ресурс] // Vulkania.Ru. 2015. 21 авг. Режим доступа: <http://vulkania.ru/interesnyie-fakty/vulkan-laki-katastroficheskoe-izverzhenie-1783-1784-godov.html>.
5. Вулкан Мауна-Лоа [Электронный ресурс] // Vulkania.Ru. 2015. 27 июня. Режим доступа: <http://vulkania.ru/vulkanyi/vulkanyi-severnoy-i-tsentralnoy-ameriki/vulkan-mauna-loa.html>.
6. Вулкан Ньярагонго – формирование новой горячей точки [Электронный ресурс] // Vulkania.Ru. 2015. 9 нояб. Режим доступа: <http://vulkania.ru/interesnyie-fakty/vulkan-niragongo-formirovanie-novoy-goryachey-tochki.html>.
7. Геворкян С.Г. Великое минойское извержение вулкана Санторин и его последствия // Пространство и Время. 2011. № 2. С. 138–144.

¹ Там же.

² Alabaster T., Pearce J.A., Malpas J. "The Volcanic Stratigraphy and Petrogenesis of the Oman Ophiolite Complex." *Contr. Mineral. Petrol.* 81.3 (1982): 168–183; Huijsmans J.P.P. "Calc-Alkaline Lavas from the Volcanic Complex of Santorini, Aegean Sea, Greece: A Petrological, Geochemical and Stratigraphic Study (Dissertation)." *Geologica Ultraeetina* 41 (1985): 1–316. PDF-file. <<https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/237614>>; Nixon G.T. "Petrology of the Younger Andesites and Dacites of Iztacchuatl Volcano, Mexico: II. Chemical Stratigraphy, Magma Mixing, and the Composition of Basaltic Magma Influx." *J. Petrol.* 29.2 (1988): 265–303; Frey F.A., Wise W.S., Garcia M.O., West H., Kwon S.T., Kennedy A. "Evolution of Mauna Kea Volcano, Hawaii: Petrologic and Geochemical Constraints on Postshield Volcanism." *J. Geophys. Res.: Solid Earth* 95.B2 (1990): 1271–1300; Ablay G.J., Marti J. "Stratigraphy, Structure, and Volcanic Evolution of the Pico Teide–Pico Viejo Formation, Tenerife, Canary Islands." *J. Volcan. Geotherm. Res.* 103.1 (2000): 175–208; Dungan M.A., Wulff A., Thompson R. "Eruptive Stratigraphy of the Tatara–San Pedro Complex, 36 S, Southern Volcanic Zone, Chilean Andes: Reconstruction Method and Implications for Magma Evolution at Long-lived Arc Volcanic Centers." *J. Petrol.* 42.3 (2001): 555–626; Giordano G., De Benedetti A.A., Diana A., Diano G., Gaudio F., Marasco F., Miceli M., Mollo S., Cas R.A.F., Funicello R. "The Colli Albani Mafic Caldera (Roma, Italy): Stratigraphy, Structure and Petrology." *J. Volcan. Geotherm. Res.* 155.1 (2006): 49–80.

8. Гипенрейтер В. Рождение вулкана М.: Планета, 1979.
9. Гущенко И.И. Извержения вулканов мира (Каталог). М.: Наука, 1979.
10. Делемень И.Ф. Кольцевые структуры как индикаторы глубинного строения современных гидротермальных систем Камчатки. Автореф. дисс. ... к. г.-м. н. Владивосток, 1998.
11. Иванов В.В. Средне- и краткосрочные прогнозы извержений вулканов на Камчатке (1956–2012 гг.) // Вестник Камчатской региональной организации Учебно-научный Центр. Серия Науки о Земле, 2013. Т. 2. Вып. № 22. С. 98–119.
12. Извержение вулкана Эйяфьядлайёкюдль (2010) [Электронный ресурс] // Википедия. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Извержение_вулкана_Эйяфьядлайёкюдль_2010.
13. Извержение вулкана Эльдфедль в Исландии (1973) [Электронный ресурс] // Вулканы. 2015. 24 сент. Режим доступа: http://izverzhenie-vulkana.ru/2015/09/izverzhenie_vulkana_eldfedl_v_islandii_1973_386226.html.
14. Йеллоустонская кальдера [Электронный ресурс] // Википедия. Своя энциклопедия. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Йеллоустонская_кальдера.
15. Камчатская вулканологическая станция, история создания и развития [Электронный ресурс] // Камчатский научный центр. Дальневосточное отделение РАН. Режим доступа: http://www.ksnet.ru/ivs/lkamv/kamchat_volc_station/index.html.
16. Кирьянов В.Ю. Современный вулканизм. СПб.: Litera Scripta, 2009.
17. Мелкий В.А. Аэрокосмический мониторинг вулканопасных территорий: теория и методы. Автореф. дисс. ... д. т. н. М., 1999.
18. Мерапи (Ява) [Электронный ресурс] // Википедия. Свободная энциклопедия. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Мерапи_\(Ява\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Мерапи_(Ява)).
19. Петрография: В 3 ч. / Под ред. А.А. Маракушева. Ч. 1. М.: МГУ, 1976.
20. Пичугина Т.Б. Вулкан в Исландии продолжает извергаться [Электронный ресурс] // Наука и технологии РФ. 2010. 19 апр. Режим доступа: http://www.strf.ru/material.aspx?CatalogId=222&d_no=29488#.WQOE99wlGos.
21. Раст Х. Вулканы и вулканизм. М.: Мир, 1982.
22. Ритман А. Вулканы и их деятельность. М.: Мир, 1964.
23. Список работ Набоко С.И. [Электронный ресурс] // Камчатский научный центр. Дальневосточное отделение РАН. Режим доступа: <http://www.ksnet.ru/ivs/bibl/sotrudn/naboko.htm>.
24. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация и глобальные катастрофы. М.: Геоинформмарк, 2002.
25. Сывороткин В.Л. Дегазация Земли и разрушение озонового слоя // Природа. 1993. № 9. С. 35–45.
26. Сывороткин В.Л. Землетрясения // Пространство и Время. 2011. № 2. С. 124–137.
27. Сывороткин В.Л. Коровые вулканы Курило-Камчатской дуги. М.: Геоинформмарк, 1996.
28. Сывороткин В.Л. Ликвационная природа алливалитовых нодулей в дацитовых пемзах вулкана Заварицкого на Курилах // Известия АН СССР. Серия Геология. 1991. № 3. С. 142–146.
29. Сывороткин В.Л. О геологической позиции Эль-Ниньо // Пространство и Время. 2012. № 2. С. 169–173.
30. Сывороткин В.Л. О природе природных пожаров [Электронный ресурс] // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. 2016. Т. 11. Вып. 1: Система планета Земля. Стационарный сетевой адрес: 2227-9490e-provgt_e-ast11-1.2016.21.
31. Сывороткин В.Л. Цунами // Пространство и Время. 2011. № 3. С. 144–153.
32. Сывороткин В.Л., Русинова С.В., Дриль С.И. Роль геодинамического режима в формировании четвертичных вулканитов Курильской островной дуги // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 1990. № 5. С. 91–96.
33. Сывороткин В.Л., Сазонова Л.В., Подгорнова С.Т. О строении вулкана Менделеева (Курильские острова) и генезисе его пород [Электронный ресурс] // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. 2012. Т. 1. Вып. 1: Система планета Земля. Режим доступа: <http://e-almanac.space-time.ru/assets/files/rubr1-kora-mantiya-yadro-statya2-syvorotkinsazonovapodgornova-2012.pdf>.
34. Тазиев Г. На вулканах Суфриер, Эребус, Этна. М.: Мир, 1987.
35. Токарев П.И. Долгосрочный прогноз извержений вулканов // Вулканология и сейсмология. 1979. № 3. С. 77–90.
36. Федотов С.А., Мархинин Е.К. (ред.). Геологические и геофизические данные о Большом трещинном Толбачинском извержении 1975–1976 гг. М.: Наука, 1978.
37. Чижевский А.Л. Космический пульс жизни. Земля в объёмах Солнца. Гелиотараксия. М. Мысль. 1995.
38. Широков В.А. Влияние 19-летнего лунного прилива на возникновение больших камчатских извержений и землетрясений и их долгосрочный прогноз // Геологические и геофизические данные о Большом трещинном Толбачинском извержении 1975–1976 гг. М.: Наука. 1978. С. 164–170.
39. Ablay G.J., Marti J. "Stratigraphy, Structure, and Volcanic Evolution of the Pico Teide–Pico Viejo Formation, Tenerife, Canary Islands." *J. Volc. Geotherm. Res.* 103.1 (2000): 175–208.
40. Alabaster T., Pearce J.A., Malpas J. "The Volcanic Stratigraphy and Petrogenesis of the Oman Ophiolite Complex." *Contr. Mineral. Petrol.* 81.3 (1982): 168–183.
41. Dungan M.A., Wulff A., Thompson R. "Eruptive Stratigraphy of the Tatar–San Pedro Complex, 36 S, Southern Volcanic Zone, Chilean Andes: Reconstruction Method and Implications for Magma Evolution at Long-lived Arc Volcanic Centers." *J. Petrol.* 42.3 (2001): 555–626.
42. Frey F.A., Wise W.S., Garcia M.O., West H., Kwon S.T., Kennedy A. "Evolution of Mauna Kea Volcano, Hawaii: Petrologic and Geochemical Constraints on Postshield Volcanism." *J. Geophys. Res.: Solid Earth* 95.B2 (1990): 1271–1300.
43. Giordano G., De Benedetti A.A., Diana A., Diano G., Gaudio F., Marasco F., Miceli M., Mollo S., Cas R.A.F., Funicello R. "The Colli Albani Mafic Caldera (Roma, Italy): Stratigraphy, Structure and Petrology." *J. Volc. Geotherm. Res.* 155.1 (2006): 49–80.
44. Huijsmans J.P.P. "Calc-Alkaline Lavas from the Volcanic Complex of Santorini, Aegean Sea, Greece: A Petrological, Geochemical and Stratigraphic Study (Dissertation)." *Geologica Ultraiectina* 41 (1985): 1–316. PDF-file. <<https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/237614>>.
45. Nixon G.T. "Petrology of the Younger Andesites and Dacites of Iztacchuatl Volcano, Mexico: II. Chemical Stratigraphy, Magma Mixing, and the Composition of Basaltic Magma Influx." *J. Petrol.* 29.2 (1988): 265–303.
46. "Successful Lava Diversion, Etna 1983." *Volcano World*. Oregon Space Grant Consortium, Department of Geosciences, Oregon State University, n.d. Web. <http://volcano.oregonstate.edu/vwdocs/volc_images/europe_west_asia/etna_diversion.html>.

Цитирование по ГОСТ Р 7.0.11—2011:

Сывороткин, В. Л. Извержения вулканов / В.Л. Сывороткин // Пространство и Время. — 2017. — № 1(27). — С. 196—213. Стационарный сетевой адрес: 2226-7271provstl-27.2017.81.