

ВУЛКАНОЛОГИЯ И НОВАЯ ГЕОФИЗИКА: РЕАЛЬНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ НА ПРИМЕРЕ ЙЕЛЛОУСТОНСКОГО ВУЛКАНА

© 2019 г. О. Б. Хаврошкин*, С. А. Федотов,
В. В. Цыплаков, А. Н. Бойко

*Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН
Россия, 123242 Москва, ул. Большая Грузинская, 10, стр.1*

**e-mail: khavole@ifz.ru*

Поступила в редакцию 01.12.2016 г.

Представлен динамический портрет активности Йеллоустонского вулкана в виде детального анализа ключевых параметров и в реальном времени. Некоторые предварительные выводы показывают, что действующие вулканы энергетически открытые системы с сильным влиянием внешней астрофизической компоненты, в первую очередь солнечных потоков мюонов и нейтрино. Это необходимо учитывать при прогнозе их активности. Астрофизическая компонента активности может оказаться одним из главных механизмов синхронизации состояния супервулканов. Астрофизическая компонента вулканической активности может существовать и у подобных земным вулканов планет Солнечной системы, которые также испытывают синхронизирующие воздействия потока солнечных нейтрино, то есть у планет Солнечной системы могут быть найдены общие ритмы вулканической активности.

Ключевые слова: Йеллоустонский вулкан, сейсмический шум, вулканическая активность, солнечная активность, синхронизация, астрофизическая составляющая.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0205-96142019125-35>

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время исследуются основные сведения о природе и механизме вулканической деятельности. Проводится длительное изучение сейсмичности, свойств верхней мантии и их связей с вулканизмом, магматическими питающими системами. Особое внимание уделено активизации вулканов и их извержениям [Федотов, 2006] и др. Однако, классические данные по сейсмичности на основе событийного принципа регистрации, обычно дают стабильную картину состояния любого объекта до момента его активизации. Но для современных исследователей желательна получение непрерывной информации в реальном времени, что требует новых аппаратно-методических решений. Поэтому в дальнейшем по всем проблемам вулканологии необходимо привлекать инструментарий новой геофизики, например, нелинейной сейсмологии, а для более глубокого понимания энергетических механизмов вулканической активизации — достижения нейтринной геофизики [Хаврошкин, Цыплаков, 2013б; Пархомов, 2014]. Для иллюстрации такого подхода выбран Йеллоустонский супервулкан, имеющий в силу его высокой активизации большую представи-

тельность результатов наблюдений в реальном времени многочисленных измерений его физических и геофизических параметров.

ЧАСТОТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОСТОЯНИЯ СУПЕРВУЛКАНА (НА ПРИМЕРЕ АКТИВНОСТИ КАЛЬДЕРЫ ЙЕЛЛОУСТОНСКОГО ВУЛКАНА)

Спектральное представление шума и местной сейсмичности кальдеры (*Z*-компонента) анализировались как стандартная часть исследований. Высокочастотная часть пиков спектра обусловлена синхронной генерацией сейсмоакустических волн трещиноватой структурой верха земной коры, нагружаемой растягивающими напряжениями, возникающими при подъеме магмы. Подобные напряжения разнородны по пространству кальдеры и могут вызывать местные сейсмические события — землетрясения (данные станции УНМ), то есть разрядку напряженности структур. Это несложно заметить на изменениях структуры спектра сейсмического шума: высокочастотная часть от 5 Гц почти исчезает (за исключением слабых пиков на 6–5 Гц и ~10 Гц), а низкочастотная — возрастает в 2–3 раза, и появляются новые низкочастотные пики (5–10 сек). Этот процесс

переброса волновой энергии от высокочастотной части спектра в новые низкочастотные пики еще не так опасен, но именно такой механизм лежит в основе раскочки всей вулканической системы (кальдеры), создающей угрозу взрывного извержения. Важно указать и на другую закономерность: после сейсмического события спектр шума становится более высокочастотным. Это свидетельствует, что местное землетрясение понижает давление в верхней магматической камере и деформации приповерхностных структур, то есть часть раскрывшихся трещин смыкается.

НИЗКОЧАСТОТНЫЕ СОБСТВЕННЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ КАЛЬДЕРЫ. ФЕНОМЕНОЛОГИЯ И ОСОБЕННОСТИ КОЛЕБАНИЙ

Для определения выше упомянутых параметров были обработаны сейсмограммы сейсмического события 30.03.2014 г. на разных сейсмостанциях с различной чувствительностью: YPK, MCID, YHM, YPP на Z-компоненте. Величина значимых спектральных пиков сейсмических автогенераций и ревербераций кальдеры вулкана представлены в таблице.

Спектральные пики автогенераций и ревербераций сейсмограмм, записанных на рассматриваемых станциях

№	ZYPK(c)	10ZMC(c)	ZYHM(c)	10ZYHM(c)	ZYPP(c)	10ZYPPe(c)	10ZYPPPh(c)	10YPPn(c)
1		7.5		8.1	20.5 с	34.1 с	21.5 с	34.1 с
2		6.7	6.8	7.6	6.3	19.4	6.8	19.5
3	3	6.0		7.1		7.1		11.1
4	2		2.7	6.7		6.1		9.3
5	1.3	5.4		6.2		5.6	5.8	6.8
6	1.0 (с)	4.7		5.2	4.1	4.2	4.6	5.9
7	1.2 (Гц)	4.2	1.4 (Гц)		3.9	3.9	3.6	4.6
8	1.3 (Гц)	3.8	1.6 (Гц)	1.9	3.3	3.3	3.3	3.6
9	1.7	3.4	1.9 (Гц)	1.1	2.5	2.9	2.9	3.3
10	3.0	2.7	3.6 (Гц)	1.4 (Гц)	2.0	2.1	2.1	2.1
11	4.2	2.1	4.1 (Гц)	1.8	1.1	2.0		
12	4.6	1.6	6.5 (Гц)	2.0	1.1 (Гц)	1.8	1.8	1.8

Значимые спектральные пики Z-компонент сейсмических шумов или автоколебаний могут отражать некоторые общие характеристики внутренней структуры строения Йеллоустонского вулкана. Например, слоистость верхней кальдеры (слой L): при скорости сейсмических волн $V=2-3$ км/с, если периодичность автоколебаний обусловлена осцилляциями в слоях при периодах $T=5-7$ сек, имеем толщину слоя $L=V \times T/2$ ($2 \times 5/2 = 5$ км, $3 \times 7/2 = 9.5$ км). Периоды 5–7 сек, характерные для сейсмических шумов (тремор) до землетрясения на всех сейсмостанциях, не имеют конкретного объяснения, тогда как более высокочастотные периоды 2–1 сек и выше, наблюдаемые после землетрясения, обусловлены реверберациями в слоях и свидетельствуют о слоях в кальдере толщиной 1 км и меньше. После местного землетрясения максимум спектра шума кальдеры смещается в низкочастотную область в виде нескольких пиков, проявляющих тенденцию группирования. Это приводит к развитию сейсмических автоколебаний или даже автогенерации. Дальнейшие особенности этого процесса доступны для рассмотрения, например, в результате проведения

спектрально-временного анализа (СВАН) записи шумов на станции ZMCID, результаты которого представлены на рис. 1.

После локального землетрясения прежде мощный участок относительно высокочастотных шумов становится почти незаметным и быстро (за время ~ 200 сек) исчезает, но его низкочастотная часть длится около 600 сек, и в течение первых 400 сек участок графика доступен для наблюдений внутренних структурных процессов (см. рис. 1).

На спектрах некоторых других событий линии диапазона $\sim 1-0.5$ Гц существуют изолированно вплоть до момента затухания; спектральные пики диапазона 0.25–0.5 Гц образуют две группы с общими временными тенденциями – переброс энергии на изолированные наиболее мощные пики. Это пики от 0.5 Гц до 0.46 Гц; просматривается синхронизация пиков 0.49 Гц и 0.485 Гц с пиком 0.5 Гц. На конечном этапе более мощный пик начинает смещаться в сторону высокой частоты из-за уплотнения приповерхностных структур при падении внутреннего давления в кальдере после землетрясения. Наиболее сильно тенденция к синхронизации наблюдается

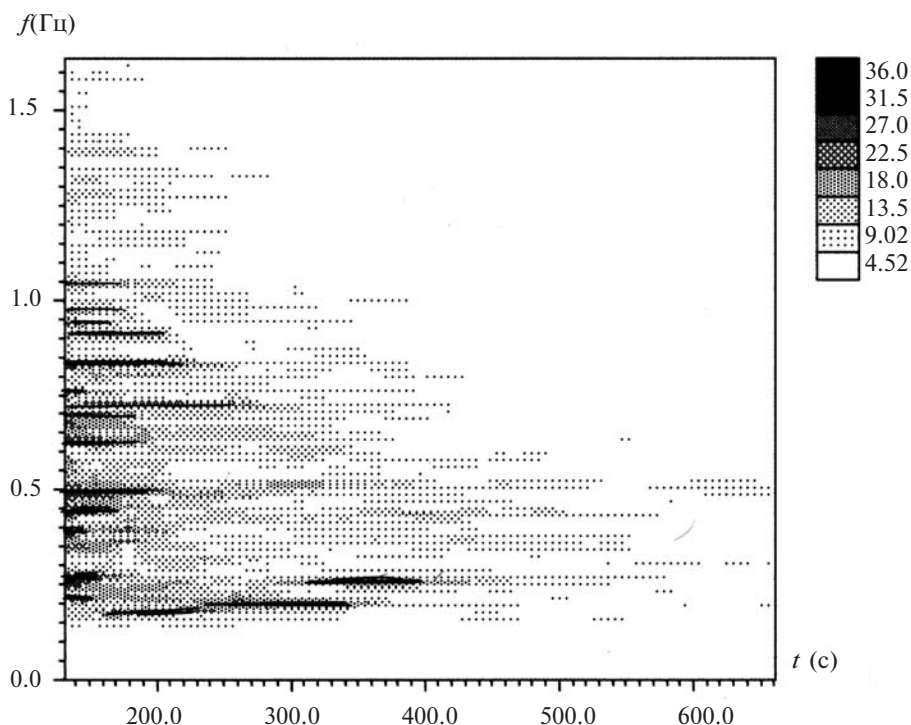


Рис. 1. СВАН низкочастотного шума и сейсмической автогенерации сейсмограммы, записанной на сейсмостанции ZMCID после землетрясения 30.03.2014 г.

в районе пика 0.25 Гц, однако, дефицит волновой энергии у пиков 0.26–0.27 Гц, как показал спектральный анализ, мешает завершению синхронизации. Эти же события рассмотрены по записям на другой станции (YPK), где полученный спектр автоколебаний Z-компоненты шумов после местного землетрясения 30.03.2014 г. имеет очень добротный пик. Эволюция этого волнового поля, определяемая СВАНом, имеет те же тенденции, что отмечались и ранее, но более мощный пик на ~0.95 Гц также усиливается полем ближайших частот. Движение в сторону низких частот проявляет более слабый пик ~0.75 Гц заметнее, что и определяет его наиболее длительное существование.

Далее были проанализированы сейсмограммы Z-компоненты землетрясения 30.03.2014 г. (110.685 W; 44.772 N) на сейсмостанции YPP на разных приборах с различной чувствительностью. На одном из приборов запись практически представляет процесс автогенерации с шумовыми элементами, также как и на других сейсмограммах – при незначительной амплитуде, но длительности до 2–3 мин, что напоминает запуск режима сейсмической автогенерации, ранее наблюдавшейся и изученной в Туркмении [Хаврошкин, Цыплаков, 2013а]. Это свидетельствует о насыщенности верхов кальдеры энергией (в основном деформационной) и является

предпосылкой для возникновения сейсмического автогенератора сухого трения. Поэтому предыдущие записи также содержат участки шумов, напоминающие сейсмическую автогенерацию в напряженной геологической среде. Наблюдались и другие примеры спектров с новыми особенностями.

Так, на спектре, представленном на рис. 2, существуют в основном две группы шумов с мощными спектральными пиками: более мощная – с пиком около 20.5 Гц и более компактная – с пиком 41 Гц. Это отличается от обычного случая удвоения частот, когда энергия колебаний сосредоточена в окрестности пиков. Здесь удвоение произошло с группой пиков. На спектре сейсмической автогенерации Z-компоненты шума после сейсмического события 30.03.2014 г. на станции MCID прослеживается периодичность пиков по шкале частот (более точно это может показать только кепстр этого спектра). Такая сложная картина подтверждает разнообразие активных процессов в кальдере супервулкана. То есть даже отрывочный сейсмический анализ волновых процессов в кальдере указывает на информативность волнового поля Z-компоненты и X, Y колебаний. Сопоставление спектров взаимно корреляционных функций указывает на существование для всей кальдеры общего периода пульсаций

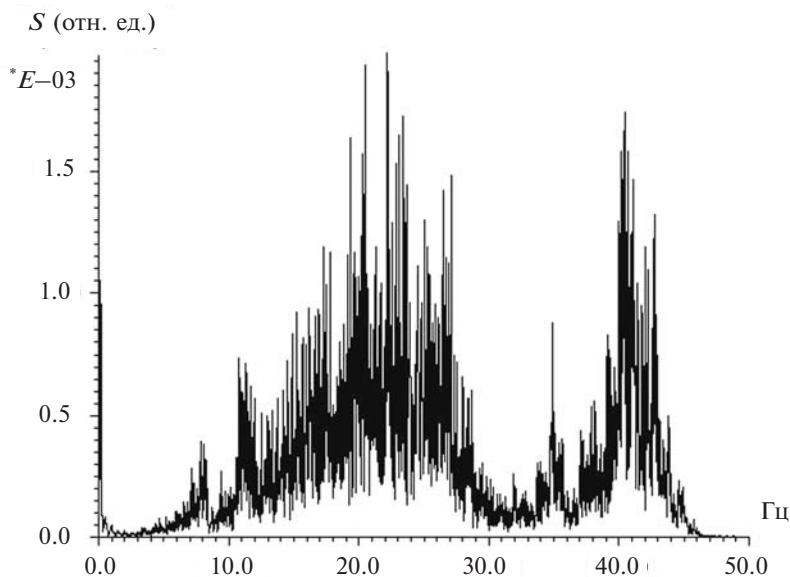


Рис. 2. Пример спектра сейсмического шума XY-компонент на одной из сейсмостанций УНМ. $S(f)$ — спектральная плотность, относительные единицы; f (Гц) — частота сигнала.

~ 6–7 сек, мониторинг которого полезен для оценки активности вулкана.

НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ПРОЦЕССЫ В КАЛЬДЕРЕ В ДЕФОРМОМЕТРИЧЕСКОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ

Для оценки активности супервулкана важно знать отклик деформационного поля на местное сейсмическое событие. Сопоставление спектров вариаций деформаций (рис. 3, 4) выявило весьма важный признак кальдеры как нелинейной системы (данные расположенной в кальдере станции LKWY за 1996–2014 г.). Спектры записей Z-компонент GPS, записанные на этой станции за последние 15 лет (см. рис. 4), до-

статочно информативны. Сейсмический сигнал от рассмотренного выше землетрясения 30 марта не погасил низкочастотные колебания в кальдере, а консолидировал два разрозненных пика в один в 3 раза более мощный с периодом ~0.1 цикл/сутки, а энергию других пиков свел к двум более мощным (в 10 раз) на 0.4 и 0.75 циклов/сутки. Подобное увеличение волновой энергии пиков при сокращении их количества только усиливает волновые процессы внутри вулкана. Не менее интересны более длительные наблюдения процессов в кальдере по данным GPS-системы.

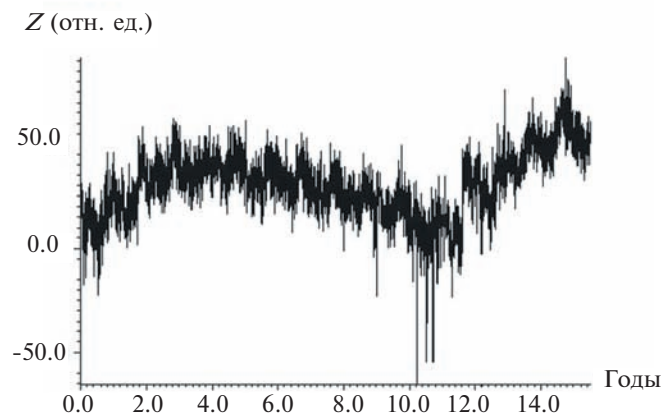


Рис. 3. GPS Z — записи вертикальных смещений в кальдере за 15 лет с ярко выраженными периодичностями и возмущениями.

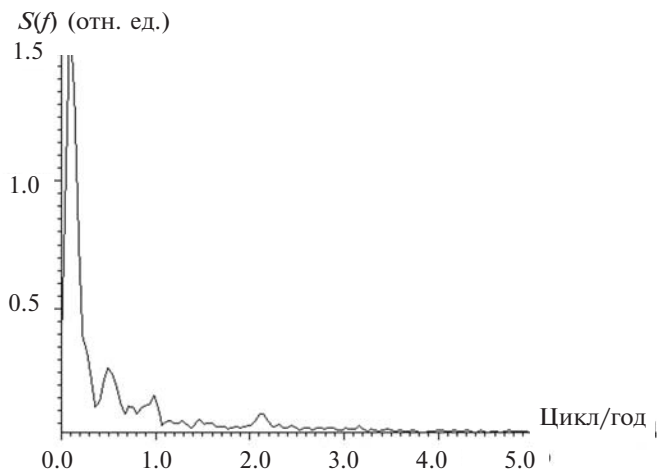


Рис. 4. Спектр GPS записи смещений Z-компоненты в кальдере супервулкана по данным длительностью ~15 лет.

АНАЛИЗ GPS ПО СОСТОЯНИЮ КАЛЬДЕРЫ

Сбор данных по деформациям ведется длительное время (последние 15 лет), поэтому их статистическая обработка представляет значительный интерес. На рис. 3,4 представлены примеры GPS-записи вертикальных смещений (Z -компонента) в кальдере вулкана и их спектры (см. рис. 4). Даже самая простейшая обработка GPS Z -записей в кальдере за 15 лет путем спектрального анализа, представляется весьма перспективной (см. рис. 4). Важный результат спектрального анализа (см. рис. 4) состоит в том, что главный, наиболее мощный пик деформаций равен 11.2 года, и это хорошо совпадает с циклом солнечной активности. Следовательно, взрыв или мощная активизация вулкана, вызванные вертикальными Z -деформациями среды, наиболее вероятны в момент 11.2-летнего максимума солнечной активности (рис. 5). Соответственно можно уточнить прогноз активности кальдеры на настоящее время, когда Солнце еще находится в максимуме активности, что отражается и на активности вулкана. Одновременно это может означать, что супервулкан — открытая энергетическая система.

Как отмечают специалисты ИЗМИ РАН, одной из самых интересных особенностей 24 цикла является необычно большое количество комплексов активных областей (КАО), промежуточной структуры между активными областями (АО) и комплексами активности, что и отражено на рис. 5. На 01.08.2012 г.

74 КАО включали 175 АО. То есть, в настоящее время супервулкан согласно данным JPS (см. рис. 3, 4) находится в состоянии непрерывной активизации (это подтверждает ИНТЕРНЕТ-информация <http://russian.rt.com/article/87577>). Возникает вопрос — насколько широко географически распространено влияние Солнца на другие активные геофизические объекты, например, волновые поля землетрясений? Такая сильная связь требует более подробного исследования, описанного ниже.

СХОДСТВО СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО РАЗЛОМА И ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ КАЛЬДЕРЫ

Активизация волновых процессов в кальдере супервулкана в конечном счете объединяет два основных энергетических механизма в завершающей стадии, определяющих форму и мощность эксплозивного извержения: состояния разломов как составляющей вулканической структуры и волновые процессы в магматических камерах и канале вулкана. На начальном этапе эти процессы могут быть практически автономны также как и поверхностные волны приповерхностных геологических структур кальдеры. Поэтому рассмотрим зону активизации магистрального разлома. К сожалению, анализ сложной и физически и сейсмически активизации магистрального разлома несколько выходит за рамки настоящего исследования, и представлен отрывочными дан-

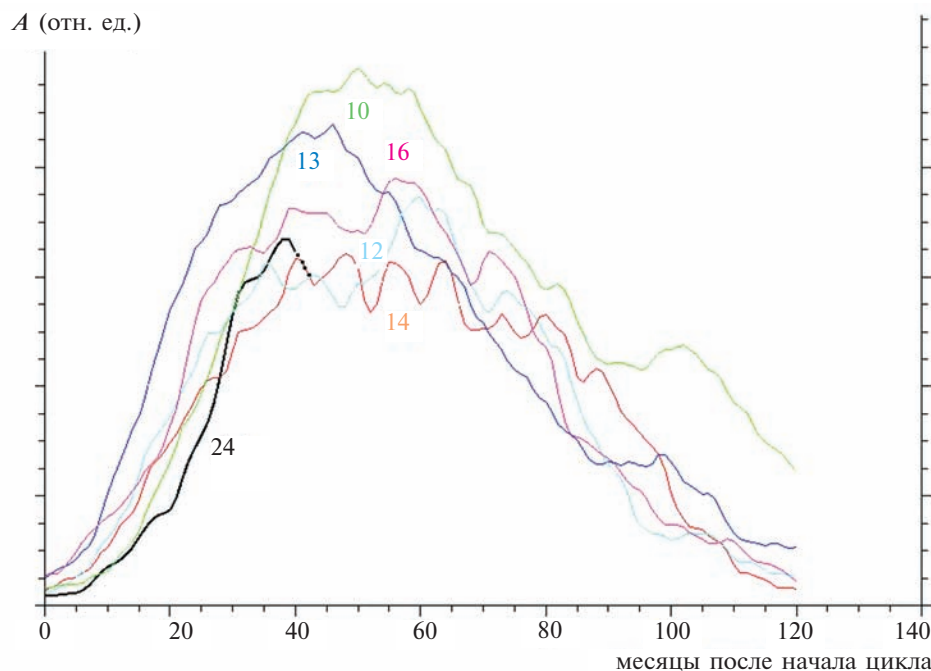


Рис. 5. Пример циклов солнечной активности (текущий цикл помечен числом 24) по данным ИЗМИ РАН. Остальными числами помечены предыдущие циклы. А — комплексное представление наблюдаемых параметров Солнца.

ными из работы [Хаврошкин, Цыплаков, 2013а]. Важен один из главных выводов. Возникновение и развитие сейсмической автоколебательной системы в кальдере вулкана обусловлено реализацией такого механизма возбуждения и таких амплитудно-фазовых соотношений, которые в конкретных сейсмогеологических условиях (регион, вулкан, магистральный разлом) и минимальных волновых потерях излучают максимум сейсмической энергии \bar{E}_Σ излучается областью генерации: борта трещины, разлома, пульсацией кальдеры или всего региона и т.д. По смыслу это соответствует модифицированной гипотезе Б.В. Раушенбаха об условиях существования тепловой автоколебательной системы. Одновременно система стремится минимизировать потери в максимуме \bar{E}_Σ . Необходимо учитывать энергию сейсмических и акустических импульсов, а искусственно созданное в зоне генерации вибросейсмическое поле способно изменить режим работы автоколебательной системы.

ПРЕДКАТАСТРОФИЧЕСКАЯ СТАДИЯ

Предкатастрофическая стадия состояния мегавулкана характеризуется максимальным развитием автоволновых процессов различной природы, которые могут привести к эксплозивному извержению с поражением значительной территории. В общем случае, в средах происходит формирование механизмов преобразования статической потенциальной энергии среды в динамическую, волновую в рамках гипотезы Б.В. Раушенбаха. Аккумулируется энергия от геохимических реакций высокотемпературной плазмы, гидродинамических процессов и авто-

генерации трещиноватых структур. При этом хаотические колебания в кальдере с ростом амплитуд и нелинейности среды синхронизируются в несколько изолированных пиков, способных к дальнейшей синхронизации и переходу на одночастотный режим. При этом с дальнейшим ростом энергии колебаний начинают проявляться их нелинейность, рост приводит к колебаниям с мягкой восстанавливающей силой. Последующее формирование сложной трехмерной автоволновой структуры иногда с мощной спиновой составляющей, трехмерные волны, которой на заключительной стадии разрушаются по механизму Н.Н. Боголюбова [Боголюбов, Митропольский, 1963] и разрушают вулканическую постройку и все прилегающие геологические образования (эксплозивное извержение, катастрофа волновой структуры). Обрушение этой структуры сопровождается мощным газо-пепловым вулканическим выбросом, который способен покрыть тысячи квадратных километров и вызвать глобальную катастрофу. Критерии развития глобальной катастрофы в предлагаемой модели активизации (см. выше) известны, как и энергетический источник вулканического извержения, что иллюстративно представлено на рис. 6.

Обрушение элементов кальдеры вулкана возможно и при недостаточно мощной общей активизации региона, но при нелинейном искажении волнового поля в виде значительного повышения уровня сейсмических шумов в широкой полосе (см. рис. 6в). Аналогичный спектр получается и при подавлении опасной волновой картины мощным высокочастотным вибросигналом или пенетрацией [Симонов и др., 1996]. Поскольку Йеллоустонский вулкан имеет две

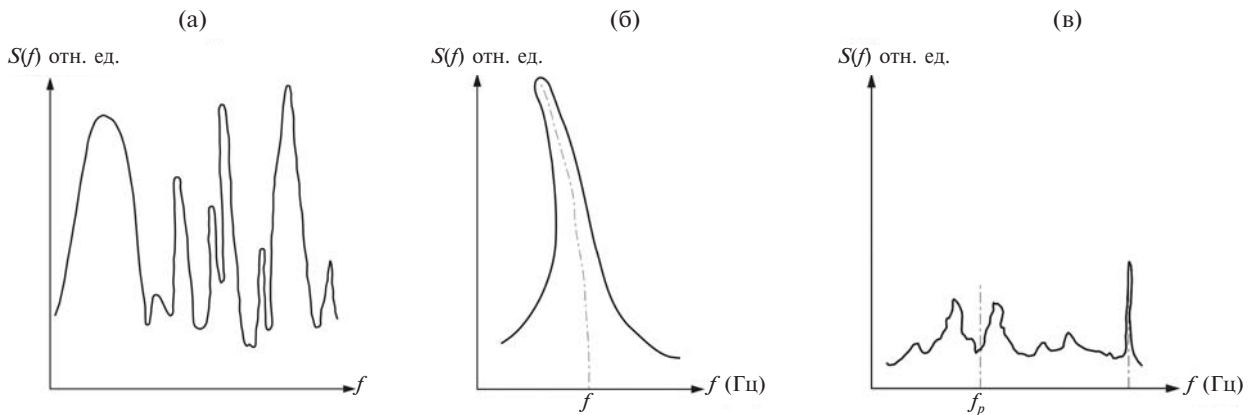


Рис. 6. Иллюстративное графическое спектральное представление возникновения предкатастрофического состояния в кальдере супервулкана по Н.Н. Боголюбову [Боголюбов, Митропольский, 1963].

$S(f)$ — спектральная плотность сигнала; f — частота процесса. Хаотическое волновое поле (а), состояние трехмерной синхронизации внутренних и поверхностных волн кальдеры с появлением спиновой составляющей (б); случай подавления резонансного волнового предкатастрофического состояния высокочастотным сейсмодвибратором (в).

магматические камеры, то возможно для подавления резонансного состояния волнового поля кальдеры придется использовать два высокочастотных сигнала.

ВОЗДЕЙСТВИЕ И УПРАВЛЕНИЕ АКТИВНОСТЬЮ ВУЛКАНА

Воздействия, как элемент управления активностью вулкана, определяются строением кальдеры, прилегающей геологической структурой и формой вулканических камер. При этом наиболее эффективным может быть разрушение синхронизации волновых процессов в кальдере и/или пенетрация магматической камеры в зоне газового пузыря. Существуют и другие методы. Однако, как типы воздействий, как например, медленное проникание [Бялко, Хаврошкин, 1990], так и научно-технические средства по их обеспечению выходят за рамки настоящей работы.

СОЛНЕЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ И АКТИВНОСТЬ ВУЛКАНА

Общие положения

Для начала необходимо более подробно рассмотреть полученный результат по сильной корреляции активности кальдеры и циклической активности Солнца. Но при анализе данных по проблемам петрологии изверженных пород, геохимии, изотопной геологии, происхождению магм различного состава и роли летучих это не рассматривается (см. например [Федотов, 2006] и другие публикации). Полагают, что солнечная активность, особенно ее циклическая составляющая, воздействуют на вулканические структуры и процессы через известные механизмы. Это – геомагнитные бури и вариации космических лучей, возмущения атмосферы, вариации осадков и изменения погоды. Но заметная активизация вулкана невозможна без первичной активизации его структуры и в первую очередь магматических камер, расположение которых фактически исключает эффективность известных стандартных механизмов солнечного воздействия. Исключение представляют потоки мюонов и солнечных нейтрино ($\sim 5 \times 10^{10}$ н. см²/сек, н. – нейтрино; более точно см. [Belloti, 2001]). Как показали современные исследования, теоретическое сечение захвата нейтрино сплошной средой ~ 10 –42 справедливо только для вещества, находящегося в обычном состоянии, а для радиоактивного вещества наблюдается увеличение сечения примерно в 1030 раз [Хаврошкин, Цыплаков, 2013б; Пархомов, 2014; Khavroshkin, Tsyplakov, 2013], так называемый эффект аномального ней-

тринного радиоизотопного (АНРИ) поглощения [Хаврошкин, Цыплаков, 2016]. При исследованиях АНРИ поглощения замечены важные геофизические аспекты. Было объяснено существование длиннопериодных колебаний Земли, не имеющих ничего общего с собственными, а также роль нейтринных потоков в эволюции планет и в других процессах, а также в сейсмических шумах [Хаврошкин, Цыплаков, 2013а; Khavroshkin, Tsyplakov, 2013; Стародубов и др., 2014; Николаев и др., 2016]. Не зная об эффекте АНРИ поглощения, зарубежные исследователи все же зарегистрировали антинейтрино от радиоактивных пород Земли, и ввели понятие “Нейтринная геофизика”, которое следует признать удачным [Belloti, 2001]. Есть и другие разработки, выполненные в Университете Пердью. Обнаружена годичная периодичность гамма излучения, как ранее в работе [Пархомов, 2014]. Учитывая многочисленные указания на роль солнечных нейтринных потоков в энергетическом состоянии радиоактивных горных пород Земли, логично предположить эту же роль и для активизации вулканов, в первую очередь магматических камер, и объяснить их солнечную периодичность. Рассмотрим более узконаправленно и подробно связь Солнце–Земля только через призму вулканической активности и солнечных нейтринных потоков.

ВЫЯВЛЕНИЕ СВЯЗИ МЕЖДУ СОЛНЕЧНЫМИ ДАННЫМИ И Z-ВАРИАЦИЯМИ JPS ПО ДАННЫМ ЙЕЛЛОУСТОНСКОГО ВУЛКАНА

Предварительно для оценок выберем те солнечные данные и/или критерии, отражающие влияние общей астрофизической обстановки на состояние вулкана, а именно, среднесуточный *Kp*-индекс с начала 2013 г. по август 2014 г. (рис. 7). *Kp*-индекс характеризует воздействия на Землю всех известных астрофизических факторов, особенно, солнечной активности.

Как следует из экспериментальных исследований, существует достоверная корреляция между *Kp*-индексом и солнечным нейтринным потоком [Хаврошкин, Цыплаков, 2013а; Khavroshkin, Tsyplakov, 2013], что позволяет судить о существовании воздействия потока на вулканические структуры.

Солнечный поток (Flux 10.7 см) – с начала 2013 г. по август 2014 г. С солнечным потоком сильно коррелируют потоки мюонов. Солнечный нейтринный поток $\sim 5 \times 10^{10}$ н. / см²с (см. рис. 7, рис. 8).

Отметим, что поток мюонов (~ 10 –2 мюон/см² на поверхности Земли, при вспышках возрастает в 102 раз).

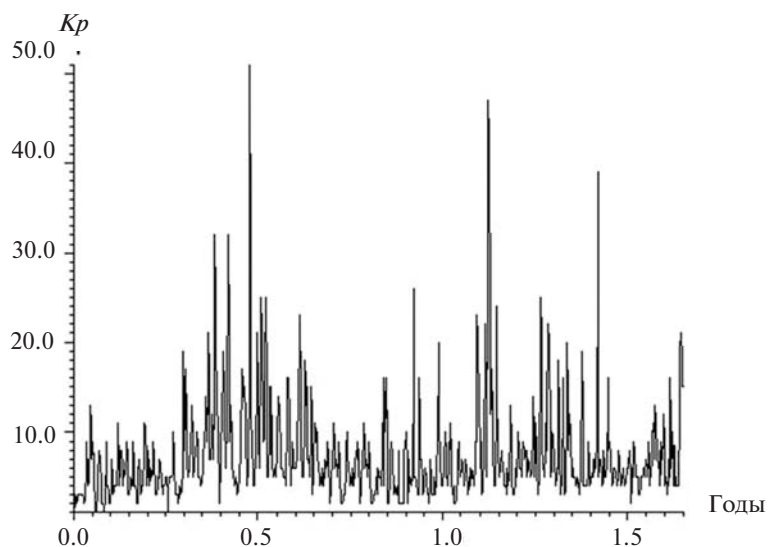


Рис. 7. Значение K_p -индекса за период с начала 2013 г. по август 2014 г.

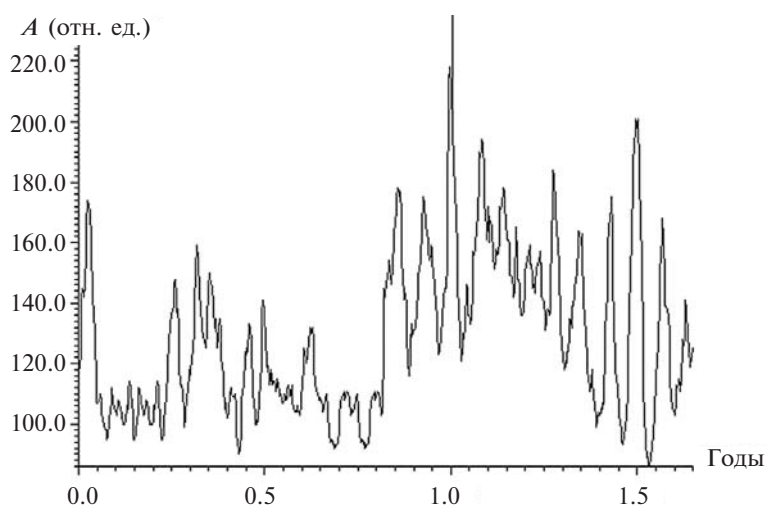


Рис. 8. Вариации солнечного и мюонного потоков энергии за период, указанный на рис. 7.

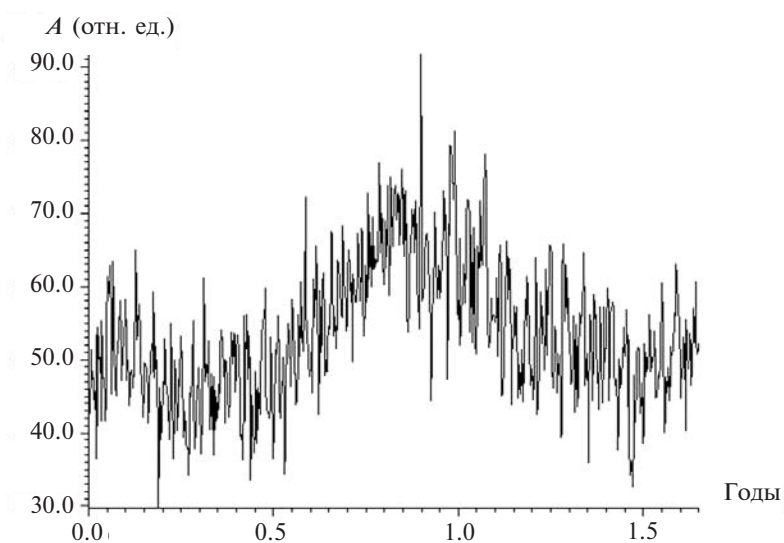


Рис. 9. Вариации Z-компоненты GJHS станции "MAWY_EBRY_WY1998".

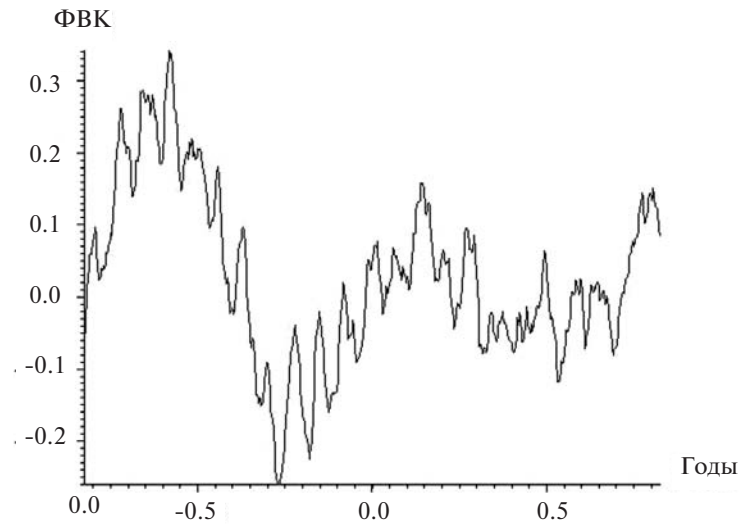


Рис. 10. Взаимно корреляции функция между солнечным потоком и K_p -индексом (ФВК – функция взаимной корреляции).

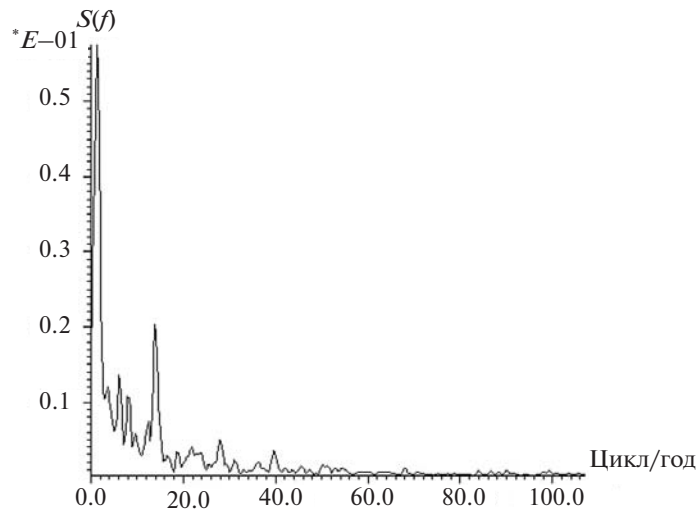


Рис. 11. Спектр вариаций взаимной корреляции между солнечным потоком и K_p -индексом.

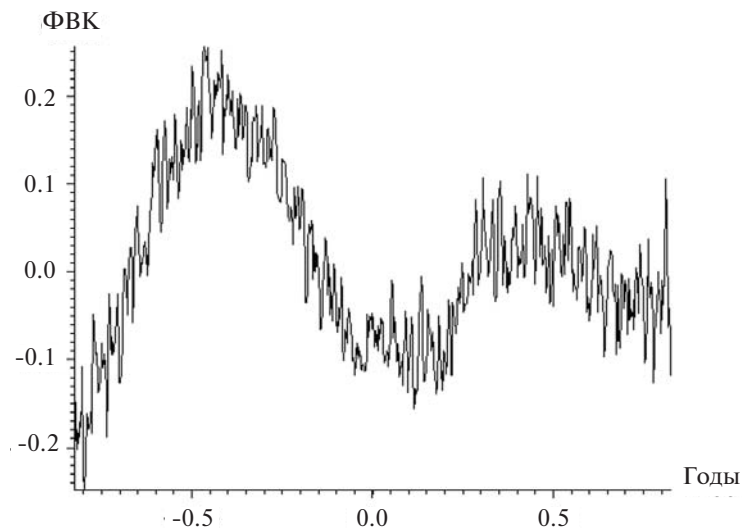


Рис. 12. ФВК вариаций между K_p -индексом и Z-компонентой в кальдере Йеллоустонского вулкана.

Данные станции GPS в кальдере получены из “44.9734275867 North Latitude”, “-110.689301894 East Longitude”, “Station name”, “MAWY_EBRY_WY1998” (рис. 9, 10).

На рис. 11 выделяются спектральные составляющие на 1 год и 27 дней (период обращения Земли и Солнца). Те же самые вариации существуют и для нейтринных и мюонных потоков Солнца [Пархомов, 2014; Рухадзе и др., 2014].

Была получена достоверная функция взаимной корреляции (ФВК) между солнечным потоком и Kp -индексом, что подтверждает значительную и универсальную роль Солнца. Аналогичны зависимости для Z -компоненты и Kp -индекса (рис. 12).

В работах [Хаврошкин, Цыплаков, 2013в; Khavroshkin, Tsyplakov, 2013] отмечена достоверная связь нейтринного потока и Kp -индекса через ФВК также, как и в настоящем исследовании (см. рис. 7–12) при рассмотрении ФВК между Z -компонентой вариаций деформаций в кальдере и солнечным потоком в 10% окне. Коэффициент корреляции $K > -0.8$, при значимости более $P = 0.999$ отражает сильную связь нейтринного потока с солнечным, точнее мюонным, но в противофазе (отрицательный) т. к. солнечный поток определяется фотосферой и пограничными с ней слоями, а нейтринный формируется в центральной зоне Солнца. Существующий распад мюонов с образованием нейтрино, усиливает суммарный рост потока нейтрино. Помимо Йеллоустонского вулкана необходимо специальное исследование других вулканов США и их связи с астрофизическим воздействием.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Основа полученных результатов – разнообразные данные наблюдений геофизических и астрофизических параметров и процессов, а также активности Солнца. Современная статистическая обработка данных – это информация, которая позволяет более глубоко понимать волновые процессы в кальдере супервулкана. Особой новизной отличается раздел связи активностей кальдеры и Солнца.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Как правило, спектры сейсмических колебаний любого действующего вулкана и в первую очередь его магматических камер должны иметь набор определенных частот.

2. На примере подробного изучения волнового поля кальдеры Йеллоустонского супервулкана, был обнаружен ряд нелинейных особенностей поля: спектр сейсмических шумов кальдеры изменяется при внешнем воздействии;

воздействие может вызывать режим сейсмических автоколебаний, сопровождающийся самосинхронизацией волн и перебросом их энергии на другие участки спектра.

3. Для описания сейсмической активности вулкана предложена модифицированная гипотеза академика Б.В. Раушенбаха; графически представлены стадии развития предкатастрофического развития состояния вулкана.

4. Рассмотрены вопросы воздействия и управления активностью вулкана.

5. GPS-измерения в кальдере вулкана информативны: выявлены периодичности деформационных полей, наиболее мощный, доминирующий пик – периодичность на 11.2 лет (цикл солнечной активности).

6. Действующие вулканы энергетически открытые системы с сильным влиянием внешней астрофизической компоненты, что необходимо учитывать при прогнозе их активности.

7. Астрофизическая компонента: мюоны, нейтрино, космические лучи – один из главных механизмов синхронизации активности супервулканов Земли. Вероятно, вулканы на планетах и их спутниках в Солнечной системе также подвержены синхронизирующим воздействиям астрофизической компоненты.

8. Знания волновых и нелинейных процессов, полученные при изучении стадии активации вулкана с применением современной аппаратуры и методов обработки, позволяют разрабатывать реальные меры по предупреждению их эксплозивного извержения.

ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ

Авторы глубоко признательны член–корреспонденту РАН А.В. Николаеву за стимулирующие дискуссии и поддержку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.Я.* Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М.: Наука, 1963. 504 с.
- Бялко А.В., Хаврошкин О.Б.* Патент № 1787279 “Способ получения информации о глубинных структурах литосферы Земли”. Приоритет 6 ноября 1990 г.
- Карагиоз О.В., Измайлов В.П., Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В.* Крутильные весы Кавендиша и адронный коллайдер ЦЕРНа: разные судьбы и результаты // Инженерная физика. 2016. № 4. С. 3–8.
- Каррыев Б.С., Курбанов М.К., Николаев А.В. и др.* Динамический режим сейсмической эмиссии: хаос и самоорганизация // Докл. АН СССР. 1986. Т. 290. № 1. С. 67–71

- Николаев А.В., Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В.* Структура астрофизической компоненты сейсмических эмиссии и шумов // *Инженерная физика*. 2016. № 9. С. 69–74.
- Пархомов А.Г.* Периодические и спорадические изменения скорости бета-распадов, обнаруженные при многолетних наблюдениях // *Метафизика*. 2014. № 1(11). С. 124–136.
- Рухадзе А.А., Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В.* Периодичности природной радиоактивности // *Инженерная физика*. 2015. № 6. С. 26–36.
- Симонов И.В., Федотов С.А., Хаврошкин О.Б.* Предкатастрофическое состояние геофизических объектов, триггерное воздействие и пенетрация // *Докл. РАН*. 1996. Т. 347. № 6. С. 811–813.
- Стародубов А.В., Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В.* От периодичностей радиоактивности к космическим и метафизическим осцилляциям // *Метафизика*. 2014. № 1(11). С. 137–151.
- Федотов С.А.* Магматические питающие системы и механизм извержений вулканов. М.: Наука, 2006. 450 с.
- Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В.* Введение в нелинейную сейсмологию. Саарбрюккен: Palmarium Academic Publishing, 2013a. 400 с. ISBN 978-3-659-98197-5.
- Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В.* Нелинейная сейсмология: Космическая составляющая. Саарбрюккен: Palmarium Academic Publishing, 2013b. 516 с. ISBN 978-3-659-98415-0
- Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В.* Радиоактивность образца руды: мониторинг // *Инженерная физика*. 2013в. № 8. С. 53–62.
- Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В., Бойко А.Н.* Магматический вулканизм и супервулканы: опасности, воздействия, перспективы // *Экологические системы и приборы*. 2016. № 3. С. 42–56.
- Хаврошкин О.Б., Царёв В.А., Цыплаков В.В., Чечин В.А.* Взаимодействие нейтринных пучков с сейсмически активной средой // *Препринт ФИ АН СССР*. № 167. М., 1985. 16 с.
- Belloti E.* First Results from GNO // *Nuclear Physics B (Proc. Suppl.)*. 2001. V. 9. P. 144–149.
- Khavroshkin Oleg, Tsyplakov Vladislav.* Sun, Earth, radioactive ore: common periodicity // *The Natural Science (NS)*. 2013. V. 5. № 9. P. 100–1005.
- McGuire W.J., Jones A.P., Neuberg J.* Volcano instability on the Earth and other planets. London: King College, 1996.

VOLCANOLOGY AND NEW GEOPHYSICS: REALITY AND PROSPECTS FOR EXAMPLE YELLOWSTONE VOLCANO

O. B. Khavroshkin*, S. A. Fedotov, V. V. Tsyplakov, A. N. Boiko

*Institute of Physics of the Earth Russian Academy of Sciences
ul. Bol'shaya Gruzinskaya 10, str. 1, Moscow, 123242 Russia*

**e-mail: khavole@ifz.ru*

Received December 01, 2016

The dynamic portrait of Yellowstone volcano activity in the form of detailed analysis of key parameters and in real time is presented. Some preliminary findings show that active volcanoes are energetically open systems with a strong influence of the external astrophysical component, primarily solar muon and neutrino fluxes. This should be taken into account when predicting their activity. The astrophysical component of activity may be one of the main mechanisms synchronizing the state of supervolcanoes. The astrophysical component of volcanic activity can exist in other volcanoes of the terrestrial planets of the Solar system, which also experience the synchronizing effects of the solar neutrino flux, that is, the planets of the Solar system can be found to have common rhythms of volcanic activity.

Key words: Yellowstone volcano, seismic noise, volcanic activity, solar activity, synchronization, astrophysical component.