

Долгосрочный прогноз времени возникновения сильных взрывных извержений вулканов Камчатки с объемом тифры от 0.1 до 3 куб. км по историческим данным с 1776 г. на основе использования целочисленных резонансных ритмов: методический подход и обсуждение результатов

В.А. Широков

Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: shirokov@emsd.ru

Методический подход к решению задачи прогноза событий

В работе А.А. Гусева с коллегами [6] приводятся сведения для 10 сильнейших исторических взрывных извержений вулканов Камчатки с 1776 г. и 9 крупных извержений за последние 10 тысяч лет по радиоуглеродному датированию. Выявлена автомодельная и фрактальная нерегулярность вулканической продуктивности, объясняющаяся связью извержений с внешними и внутриземными возмущающими воздействиями. В системе Солнце-Земля-Луна к возмущающим можно отнести лунный ритм 18.613 г. и солнечный 1.0 г. обращения центра масс Земли и Луны вокруг Солнца. Эти ритмы, их доли и кратные практически не меняются со временем. Выбор ритмов будет более полным, если использовать целочисленные резонансные ритмы (ЦРР), впервые выявленные Лапласом [7] для объяснения устойчивого обращения вокруг Юпитера трех его спутников. Поясним термин ЦРР. Если в системе двух и более тел отношения периодов их вращений или обращений кратны отношению целых чисел, считается, что они находятся в целочисленном резонансе [1]. В астрономии оперируют миллионами лет. Поэтому ЦРР T_x (далее – резонансный ритм или просто ритм) связан с возмущающим ритмом T_y приближенной формулой:

$$n \cdot T_x \approx m \cdot T_y \approx T_{\text{цикл}} \quad (1)$$

где n и m – целые числа.

Новизна предлагаемого методического подхода для решения задач прогноза землетрясений и вулканических извержений состоит в использовании формулы (1) в точном виде [4, 5]. Эта возможность основана на практической неизменности длительности возмущающих ритмов на интервале, например, в тысячу лет, т.к. за это время год увеличится на полторы минуты, что при прогнозе на такой срок можно пренебречь. Тогда получим два равенства:

$$T_y = T_{\text{цикл}} / m \text{ и } T_x = T_{\text{цикл}} / n \quad (2)$$

Из (2) следует, что если найдем значение $T_{\text{цикл}}$, в этом случае можно находить новые значимые ритмы. Из астрономии известно, что если выявлены 2 ритма, значение $T_{\text{цикл}}$ будет равно их произведению, поделенному на модуль разницы ритмов [1]. Приведем пример оценки $T_{\text{цикл}}$ для семи мировых землетрясений с магнитудой $M_w \geq 9.0$ с 1700 г. Семь событий значимо откликаются на 2 ритма: $T_1 = 6 \cdot 18.613 \text{ г.} = 111.678 \text{ г.}$ и $T_2 = 7 \cdot 18.613 \text{ г.} = 130.291 \text{ г.}$ В результате получим, что $T_{\text{цикл}} = T_1 \cdot T_2 / (T_2 - T_1) = 781.746 \text{ г.}$ Таким образом, при делении 781.746 г. на целые числа можно находить новые значимые ритмы. При их выявлении примем условие приуроченности всех событий каталога к активной фазе значимого ритма. Фазы ритмов меняются от 0 до 1.0, причем 0 и 1.0 тождественно равны. При делении 781.746 г. на 14 и 15 получим 2 новых значимых ритма $T_3 = 55.839 \text{ г.}$ и $T_4 = 52.1164 \text{ г.}$ Для них ширина активных фазовых коридоров $\Delta\Phi = \Phi_{\text{кон}} - \Phi_{\text{нач}}$ равна 0.27 и 0.357. Значимость ритмов оценивается вероятностью P по формуле Бернулли. $P(T_3) = (0.27)^7 = 0.0001$, а $P(T_4) = (0.357)^7 = 0.0007$. Для схем прогноза примем, что P должно быть менее 0.01.

За нулевую фазу ритмов выбран момент времени 1700.0 г. Для ритма T_X число закончившихся циклов к моменту времени t равно целому значению равенства:

$$D = (t - 1700.0 \text{ г.}) / T_X \quad (3)$$

Остаток от целого определяет фазу события Φ :

$$\Phi = D - \text{Entier}(D) \quad (4)$$

Entier – это целая часть. Время t следующих друг за другом начальных фаз ритмов рассчитывается по рекуррентной формуле:

$$t(\Phi_{\text{нач}}) = 1700.0 + n \cdot T_X, \text{ где } n = 1, 2, 3, 4 \text{ и т.д.} \quad (5)$$

По такой же формуле находим моменты $t(\Phi_{\text{кон}})$.

Этот подход использовался ранее [4] для прогноза сильнейших мировых эксплозивных извержений за последние 300 лет с объемом 4 куб. км и более (на интервалах до полугодия). С 1815 г. в мире произошло 8 извержений (исключены извержения Исландии из зоны Атлантического рифта). Для пяти событий объем продуктов был от 18 до 150 куб. км. Из них 3 события произошли в XIX веке и два в следующем [3]. Для извержений выявлен высокосзначимый отклик на ритм $781.746 \text{ г.}/80 = 9.771825 \text{ г.}$. Восемь событий приурочены к фазовому коридору $\Delta\Phi$ шириной 0.103 от длительности ритма [4], т.е. активная фаза в пределах ритма длится всего один год. Значение вероятности $P = (0.103)^8 = 10^{-8}$. Прогноз является вероятностным, т.к. из 22-х прошедших циклов по 9.771825 г. события отмечены лишь в семи. $P = 7/22 = 0.3$.

Предложенная методика прогноза по резонансным ритмам достаточно проста. Извержения должны быть приурочены только к активным фазам резонансных ритмов. Вне активных фаз события не происходили и поэтому не ожидаются. Этот подход используется и в настоящей работе.

Анализ и характеристика исходных данных для камчатских извержений

В табл. 1 приведены сведения о времени возникновения 10 камчатских эксплозивных извержений с 1776 г. Они приведены в работе [6], а описание извержений можно найти в [3]. Для трех извержений объем продуктов превысил 1 км³ (28.03.1907 г., Ксудач, 3 км³; 12.11.1964 г., Шивелуч, 1.5 км³; 06.07.1975 г., Большое трещинное Толбачинское извержение, 2 км³). Список дополнен двумя извержениями влк. Алайд, т.к. он находится всего в 20 км по широте относительно мыса Лопатка, южной оконечности Камчатки.

В качестве примера рассчитаем отклик вулкана Опала на ритм 9.771825 г. (23.10.1776 г. соответствует 1776.81 г.). Согласно формуле (3) вычтем 1700.0 г. из 1776.81 г. Получим 76.81 г. При делении этого значения на 9.771825 г. получим 7.8603. Вычитая, согласно формуле (4), из этого значения целую часть, получим фазу отклика на ритм T_I , равную 0.86. В предпоследнем столбце табл. 1 максимальное и минимальное значения фаз для 12 событий взяты в скобки. Вычитая из максимального значения 0.7732 минимальное 0.2228, получим, что ширина активного коридора $\Delta\Phi$ для ритма T_I составит 0.4496. Возведя это значение в степень 12, получим $P = 0.00007$. *Вероятность случайного возникновения извержений пренебрежимо мала. Это один из главных выводов работы.* Для ритма $9.771825 \text{ г.}/3 = 3/257275 \text{ г.}$ $P = 0.0005$.

Используя формулу (5), по стандартной программе Excel рассчитываются временные интервалы, к которым приурочены 12 событий каталога. Они приведены в табл. 2, второй столбец, для трех циклов длительностью по 9.771825 г. В третьем столбце табл. 2 приведены прогнозируемые интервалы для мировых извержений вулканов с $V \geq 4 \text{ км}^3$ с 1800 г. Для ритма 9.771825 г. они ранее рассчитаны в [4]. Чтобы получить прогнозируемые интервалы для циклов 2 и 3, необходимо к каждому из пяти значений прогнозируемого времени начала и конца опасных интервалов, приведенных

для первого цикла, прибавить 9.771825 г., т.к. этот ритм является полным циклом резонанса для мировых и камчатских событий. Из табл. 2 видно, что начало времени прогноза для камчатских извержений наступает в каждом цикле позже на 0.33 года, т.е. на 4 месяца, по сравнению с мировыми извержениями. Временные интервалы прогноза для мировых и камчатских событий пересекаются на интервале длительностью 0.66 г., т.е. в течение 8 месяцев.

Таблица 1. Основные параметры отклика эксплозивных извержений вулканов Камчатки и влк. Алаид на резонансные ритмы $T_1 = 9.771825$ г. и $T_2 = 9.771825$ г./3 = 3.257275 г.

№, i	Вулкан	Начало извержения, г.	$\Phi_1(T_1)$	$\Phi_1(T_2)$
1	Опала	23.10.1776	0.86	0.581
2	Авачинский	27.06.1827	0.046	(0.1389)
3	Шивелуч	18.02.1854	(0.7739)	0.319
4	Ксудач	28.03.1907	0.207	0.622
5	Желтовский	11.02.1923	0.832	0.497
6	Авачинский	28.03.1926	0.152	0.455
7	Авачинский	25.02.1945	0.087	0.262
8	Безымянный	30.03.1956	(0.2228)	(0.6685)
9	Шивелуч	12.11.1964	0.105	0.314
10	Алаид	18.06.1972	0.8825	0.647
11	Плоский Толбачик	06.07.1975	0.194	0.583
12	Алаид	15.04.1981	0.784	0.354

Таблица 2. Расчетные временные интервалы для извержений вулканов Камчатки и влк. Алаид и их сопоставление с мировыми извержениями до 2049 г.

№ цикла	Камчатка и влк. Алаид, годы	Мировые извержения, годы
1	2020.25 – 2021.39 2022.92 – 2024.64	2019.92–2020.91
2	2030.02 – 2031.16 2032.69 – 2034.41	2029.69–2030.68
3	2039.79 – 2040.93 2042.46 – 2044.19	2039.46–2040.46

На наш взгляд, 4-месячное опережение активной фазы сильных мировых эксплозивных извержений относительно активной фазы камчатских извержений фактически указывает на отчетливо выраженную синхронизацию начала активных фаз мировых и камчатских событий, так как 0.33 г. относительно 9.771825 г. составляет всего 3.4 %. Этим, вероятно, можно объяснить высокий уровень вулканической продуктивности извержений вулканов Камчатки за последние 10 тысяч лет. В эти годы активность мировых эксплозивных извержений также была аномально высокой. За последние 10 тысяч лет на Камчатке произошло 9 крупных эксплозивных извержений с объемом продуктов от 5 до 180 куб. км. С использованием трех резонансных ритмов долгосрочный прогноз таких событий сделан в [5]. По прогнозу, ближайшее событие такого масштаба может произойти не ранее 3000 г.

Можно обратить внимание на значимое внутригодовое распределение 12 извержений вулканов Камчатки и влк. Алаид (табл. 1), так как события внутри года распределены неслучайно. Они приурочены к интервалам с 10 февраля по 15 апреля, с 10 июня по 15 августа, с 10 октября по 15 декабря. Ширина активного коридора составляет 0.54. Значимость ритма $P = (0.54)^{12} = 0.0006$. Поэтому сильные эксплозивные вулканические извержения на Камчатке наиболее вероятны в указанные выше внутригодовые интервалы. При использовании трех ритмов, включая 4-месячный, эффективность прогноза, по определению А.А. Гусева [2], составляет 3.6. Во столько раз прогноз лучше случайного.

Представляют интерес долгосрочные прогнозы и для отдельных вулканов. Достаточно полная надежная статистика имеется для вулкана Безымянный. Анализ событий показал, что 12 эксплозивных извержений вулкана с высотой выбросов пепла в атмосферу на высоту 12-15 км значимо откликаются на возмущающий ритм 1.0 года. Из 12 событий такого масштаба лишь одно произошло в високосном году. Наоборот, именно в високосные годы произошли 4 сильнейших мировых землетрясения с $M_w \geq 9.0$ с середины прошлого века: 17.11.1952 г. (Камчатка, Россия), 22.05.1960 г. (Чили), 28.03.1964 г. (Аляска, США), 26.12.2004 г. (Индонезия). Лишь одно отмечено в невисокосный год (11.03.2011 г., Япония). Но вулкан отреагировал в противофазе на последнее землетрясение, так как единственное извержение влк. Безымянный произошло именно в високосном 2012 г. Противофазный эффект (5 землетрясений и одно извержение) выражен на значимом уровне, т.к. $P = (0.5)^6 = 0.01$.

По предварительной оценке в ближайшие 6 лет наиболее сильные извержения вулкана Безымянный наиболее вероятны в 2021 г. и первой половине 2022 г. События маловероятны в текущем високосном году. С августа 2022 г. до 2026 г. события указанного масштаба не ожидаются. Более эффективными являются краткосрочные, менее чем за неделю, прогнозы влк. Безымянный на основе использования спутниковых и сейсмологических данных. Успешные краткосрочные прогнозы извержений вулкана Безымянный достаточно часто делались учеными ИВиС ДВО РАН и КФ ФИЦ ЕГС РАН. Долгосрочные оценки, на наш взгляд, важны для понимания механизма возникновения вулканических извержений.

В заключение можно отметить, что рассмотренные нами сильные мировые и региональные вулканические извержения со второй половины XVIII века не являются случайными, что и предопределяет возможность их долгосрочного прогноза. Можно также сделать вывод, что в системе Солнце-Земля-Луна наша планета является устойчивым резонатором, благодаря чему события значимо откликаются на резонансные ритмы, связанные с устойчивыми возмущающими ритмами 18.613 г. и 1.0 г. Предположительный механизм этого явления описан в [4 и др.].

Список литературы

1. *Бялко А.В.* Наша планета–Земля. Библиотечка Квант. Вып. 29. М.: Наука, 1989. 240 с.
2. *Гусев А.А., Петухин А.Г.* О возможной синхронизации сильных землетрясений лунным 18,6-летним циклом, его долями и кратными // Вулканология и сейсмология, 1997. № 3. С. 64-79.
3. *Гущенко И.И.* Извержения вулканов мира (каталог). М. Наука, 1979. 475 с.
4. *Широков В.А.* О резонансной природе наиболее сильных извержений вулканов Земли и их прогноз на ближайшие десятилетия по данным наблюдений с 1700 г. // Материалы Пятой научно-технической конференции «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России». Петропавловск-Камчатский. КФ ГС РАН, 2015. С. 306-310.
5. *Широков В.А., Мелекесцев И.В.* Сильные эксплозивные извержения на Камчатке по данным радиоуглеродного датирования за последние 10 тысяч лет с объемом продуктов $V \geq 5 \text{ км}^3$ и их прогноз с использованием резонансных ритмов на ближайшие 12 тысяч лет // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXII Всероссийской научной конференции, посвященной Дню Вулканолога 28-29 марта 2019 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2019. С. 128-131.
6. *Gusev A.A., Ponomareva V.V., Braitseva O.A. et al.* Great explosive eruptions on Kamchatka during the last 10,000 years: Self-similar irregularity of the output of volcanic products // Journal of Geoph. Research, Vol. 108. № B2. 2126. 2003. P. 1-18. DOI: 10.1029/2001JB000312
7. *Laplace P.S.* Theorie des satellites de Jupiters (suite) // Memories de Academic Royale des Sciences de Paris. France. Berlin. 1789. P. 237-296.