

УДК 550.2: 521.937 + 550.340.6

## ДОЛГОСРОЧНО-КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ МИРОВЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С МАГНИТУДОЙ $M_W \geq 9.0$ ДО 2700 г. ПО ДАННЫМ СОБЫТИЙ С 1700 г. НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦЕЛОЧИСЛЕННЫХ РЕЗОНАНСНЫХ РИТМОВ

Широков В.А.<sup>1</sup>, Кролевец А.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, shirokov@emsd.ru

<sup>2</sup>Российской академии Народного Хозяйства и Государственной службы (РАНХиГС),  
г. Петропавловск-Камчатский

### Введение

В шкале моментных магнитуд по данным каталогов А.А. Гусева [4] и Геологической службы США NEIC (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/earth>) в мире с 1700 г. произошло семь землетрясений с  $M_W \geq 9.0$ . Они привели к масштабным разрушениям и многочисленным человеческим жертвам, в том числе от цунами. Для первых двух событий время в очаге известно с точностью до получаса, для остальных – до секунд и долей секунд. Глубина очагов не превышает 50 км. Приведем список событий по Григорианскому календарю: 17.10.1737 г. (Камчатка, Россия,  $M_W = 9.2$ ), 17.05.1841 г. (Камчатка, 9.0), 4.11.1952 г. (Камчатка, 9.0), 22.05.1960 г. (Чили, 9.5), 28.03.1964 г. (Аляска, США, 9.2), 26.12.2004 г. (Индонезия, 9.1), 11.03.2011 г. (Япония, 9.1). Можно отметить, что во втором тысячелетии новой эры до 1700 г. по макросейсмическим и другим данным сейсмологи не приводят сведений о событиях такого масштаба. Необходимы дополнительные исследования.

Целочисленные резонансные ритмы (ЦРР) использовались нами в последние 6 лет для долгосрочных прогнозов сильных мировых и региональных землетрясений [10, 11, 13] и вулканических извержений [12, 15]. В астрономии ЦРР используются с конца XVIII века [1, 6, 18, и др.]. Понятие ЦРР впервые введено в 1789 г. Лапласом [18] при выявлении синхронизации частот обращений трех Галилеевских спутников Юпитера. В астрономии известно, что если в системе отношения периодов колебаний, вращений или обращений ( $T_1/T_2$ ) примерно кратны отношению целых чисел ( $m/n$ ), это означает, что изучаемые объекты (планеты, их спутники, кометы) находятся в целочисленном резонансе [1]. Например, для пар близких планет можно рассчитать примерное значение полного цикла резонанса  $T_{цикл}$ . Оно равно произведению периодов их сидерического обращения вокруг Солнца, поделенному на модуль разницы этих периодов. Именно резонансные ритмы являются причиной возникновения возмущений в траекториях соседних пар планет при отклонении их движения от эллиптической орбиты. Поскольку даже обычные резонансы могут приводить к разрушительным последствиям, поэтому появилась идея использования ЦРР для прогноза сильных землетрясений и вулканических извержений [10, 12].

### Методика долгосрочного прогноза землетрясений на основе использования целочисленных резонансных ритмов и ее применение

Наиболее полно методика прогноза описана в [13]. Ее основой является детерминированная связь резонансных ритмов с устойчивыми во времени возмущающими силами с известной лунной  $T_L = 18.613$  г. и солнечной  $T_C = 1.0$  г. периодичностью при обращении центра масс Земли и Луны вокруг Солнца. По определению возмущающие силы являются устойчивыми по амплитуде и фазе. Например, земной год за миллион лет увеличится на полторы минуты [6]. Но спустя миллион лет придется пользоваться теми же обозначениями  $T_C = 1.0$  г. и  $T_L = 18.613$  г.

Новизна методики состоит в расчете резонансных ритмов не по приближенным формулам, как в астрономии, а по точным в виде произведения отношения двух целых чисел, умноженного на  $T_L = 18.613$  г. и  $T_C = 1.0$  г., т.е.  $T_x = (m/n) \cdot 18.613$  г. и  $T_x = (m/n) \cdot 1.0$  г. [10–13]. Как рассчитываются значимые резонансные ритмы? Процедура перебора по существу неограниченного количества отношений двух целых чисел является неэффективной, так как могут появиться случайные ритмы. По эмпирическим данным выяснилось, что ритмы  $55.839$  г. =  $3 \cdot 18.613$  г. и  $52.1164$  г. =  $(14/5) \cdot 18.613$  г. являются статистически значимыми для различных каталогов землетрясений [4, 10, 11]. Первый ритм для камчатских землетрясений выявлен А.А. Гусевым [4], второй в [10, 11]. В результате для сильных камчатских и мировых землетрясений значимыми оказались оба ритма. Как указано во *Введении*, для двух резонансных ритмов значение полного цикла резонанса цикл рассчитывается как

произведение этих ритмов, поделенное на модуль их разницы [1]. Тогда для ритмов 55.839 г. и 52.1164 г. получим  $T_{цикл} = 781.746$  г. Поделив 781.746 г. на 2 ритма, получим числа 14 и 15. Таким образом, за счет деления 781.746 г. на другие целые числа можно выявить новые резонансные ритмы, если они окажутся значимыми. В данной работе выбран жесткий критерий значимости  $P = 2 \cdot 10^{-2}$  и менее.  $P$  соответствует вероятности случайного распределения семи событий в активном фазовом коридоре  $\Delta\Phi$ . По формуле Бернулли  $P = (\Delta\Phi)^7$ . Способ расчета  $\Delta\Phi$  будет приведен далее. При делении  $T_{цикл} = 781.746$  г. на целые числа  $m$  рассчитаны 13 значимых ритмов, которые использовались для прогноза. Приведем для них значения  $m$ : 4, 6, 7, 12, 14, 15, 20, 60, 100, 120, 300, 400 и 840. Самый продолжительный ритм – 195.4365 г., самый короткий – 0.93065 г. Алгоритм прогноза таков: землетрясения происходили и ожидаются только во временных интервалах, соответствующих активным фазам  $\Delta\Phi$  значимых ритмов.

Поясним, как рассчитываются прогнозируемые интервалы. Выше было указано, что резонансные ритмы  $T_x$ , связанные с лунным  $T_L$ , соответствуют формуле  $T_x = (m/n) \cdot 18.613$  г. Поэтому в общем случае имеем:

$$T_x = (m/n) \cdot T_Y \quad (1)$$

Используются два возмущающих ритма  $T_Y(1) = 18.613$  г. и  $T_Y(2) = 1.0$  г. В формуле (1)  $m$  и  $n$  – целые числа, представляющие произведение простых чисел. Принято, что нулевые фазы всех ритмов соответствуют дате 1700.0 г. Прибавив к 1700.0 г. значение 781.746 г., получим 2481.746 г. В этот момент времени фазы всех ритмов будут снова равны нулю. Это означает, что процесс будет повторяться через каждые 781.746 г. Как и для обычных ритмов [4], для резонансного ритма  $T_x$  число закончившихся циклов к моменту времени  $t$  равно целому значению равенства

$$D = (t - 1700.0 \text{ г.}) / T_x \quad (2)$$

Остаток от целого определяет фазу события  $\Phi$ .

$$\Phi = D - \text{Entier}(D) \quad (3)$$

Здесь Entier – целая часть [4]. Время  $t$  следующих друг за другом нулевых фаз ритмов рассчитывается по очевидной рекуррентной формуле

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

Так как землетрясений семь, для каждого из них по формуле (3) рассчитывается семь значений фаз, среди которых будет одна начальная  $\Phi_{нач}$  и одна конечная  $\Phi_{кон}$ . Ширина активного коридора  $\Delta\Phi = \Phi_{кон} - \Phi_{нач}$ . Значения  $\Delta\Phi$  необходимы для оценки значимости ритма.

По стандартной программе Excel по рекуррентным формулам рассчитывается время начала и конца прогнозируемых интервалов для каждого из 13-ти ритмов  $T_x$ .

$$t(\text{нач}) = \Phi_{нач} \cdot T_x + 1700.0 \text{ г.} + n \cdot T_x, \quad \text{где } n = 0, 1, 2, 3, \dots \text{ и т.д.} \quad (6)$$

$$t(\text{кон}) = \Phi_{кон} \cdot T_x + 1700.0 \text{ г.} + n \cdot T_x, \quad \text{где } n = 0, 1, 2, 3, \dots \text{ и т.д.} \quad (7)$$

Проще всего начинать расчет прогнозируемых интервалов ( $t_{нач} - t_{кон}$ ) по формулам (6) и (7) с самых продолжительных ритмов, переходя к более коротким. В качестве примера приведем три первых по времени интервала (в годах) для самых продолжительных ритмов 195.4365 г. и 130.291 г. (в годах):

| (Ритм 195.4365 г.)           | (Ритм 130.291 г.)            |
|------------------------------|------------------------------|
| <b>1737.7935 – 1841.3750</b> | 1700.0000 – 1750.6077        |
| 1933.2300 – 2036.8115        | 1822.5524 – 1880.8987        |
| 2128.6665 – 2232.2480        | <b>1952.8434 – 2011.1897</b> |

Жирным шрифтом выделено время возникновения землетрясений Камчатки 1737, 1841, 1952 г. и Японии в 2011 г. Их время возникновения появилось при расчетах в связи с тем, что оно соответствует четырем значениям  $\Phi_{нач}$  и  $\Phi_{кон}$  активных фаз ритмов (табл.). Сравнивая 6 интервалов между собой, получим три новых интервала, отвечающие обоим ритмам: **1737.7935–1750.6077**, 1822.5524–**1841.3750**, **1952.8434–2011.1897**.

Затем берется третий ритм и процедура расчета интервалов повторяется. В конце всех расчетов получим прогнозируемые интервалы по всем ритмам до конца времени прогноза, соответствующего 2700 г. Результаты расчетов приведены в таблице.

Для девяти из десяти интервалов получили длительность, равную нулю. В семи интервалах (строки 1, 2, 3, 5, 6, 7 и 8) оказались моменты возникновения семи землетрясений. В строке 1 приведено время камчатского землетрясения 17.10.1737 г. Для него при значениях  $m_i = 4$  и 12 (ритмы 195.4365 г. и 65.1455 г.) совпали начальные фазы ( $\Phi_{нач}$ ) двух ритмов. А для значений  $m_j = 20$  и 300 (ритмы 39.0873 г. и 2.60582 г.) совпали конечные фазы ( $\Phi_{кон}$ ) двух ритмов. Такое совпадение соответствует эффекту синхронизации начальных и конечных фаз двух пар резонансных ритмов.

Выявленный целочисленный резонанс и является причиной возникновения землетрясения на Камчатке 17.10.1737 г.,  $M_w = 9.2$ . Аналогичный эффект получен и для остальных шести землетрясений. Кроме этого, в строчках 9 и 10 таблицы эффект синхронизации фаз получен для дат 2519.5395 г. и 2623.1210 г. Эти даты можно получить, прибавляя к датам землетрясений Камчатки 1737.7935 г. и 1841.3750 г. значение  $T_{цикл} = 781.746$  г. Таким образом, чтобы сделать прогноз будущих событий по лунному ритму 18.613 г., достаточно к времени семи мировых землетрясений прибавить 781.746 г. Точно также можно делать прогноз событий в прошлое.

В строчке 4 таблицы интервал равен не нулю, а 0.0173 г. Время прогноза с 2019.0 г. до 2700.0 г. составит 681 год. Доля времени тревоги относительно 681.0 г. равна 0.0000254. Эффективность  $I$  прогноза по определению А.А. Гусева [3] равна  $1.0 / 0.0000254 = 39370$ . Во столько раз прогноз лучше случайного.

Кроме использовавшихся для прогноза ритмов, не менее важна роль более коротких значимых ритмов ( $m$  более 840), которые совпадают с фазами  $\Phi_{нач}$  и  $\Phi_{кон}$  семи мировых землетрясений и, на наш взгляд, играют важную роль в возникновении сильных землетрясений.

Таблица. Сейсмический отклик на целочисленные резонансные ритмы  $T_m$  мировых землетрясений 1737 – 2018 гг. с  $M_w \geq 9.0$ . Во втором и четвертом столбцах приведены целые числа  $m$ , по которым рассчитаны соответствующие ритмы по формуле  $T_m = 781.746$  г. /  $m$

| $N_i$ | $m_i$    | Интервал, в годах            | $m_j$       |
|-------|----------|------------------------------|-------------|
| 1     | 4, 12    | <b>1737.7935 – 1737.7935</b> | 20, 300     |
| 2     | 15, 60   | <b>1841.3750 – 1841.3750</b> | 12          |
| 3     | 6, 7, 20 | <b>1952.8434 – 1952.8434</b> | 100         |
| 4     | 60, 120  | 1958.6369 – 1958.6542        | 840         |
| 5     | 300      | <b>1960.3901 – 1960.3901</b> | 120         |
| 6     | 100, 120 | <b>1964.2381 – 1964.2381</b> | 14, 15, 840 |
| 7     | 14       | <b>2004.8434 – 2004.8434</b> | 60          |
| 8     | 840      | <b>2011.1897 – 2011.1897</b> | 6, 7        |
| 9     | 4, 12    | <b>2519.5395 – 2519.5395</b> | 20, 300     |
| 10    | 15, 60   | <b>2623.1210 – 2613.1210</b> | 12          |

При наличии эффекта синхронизации начальных фаз мировых и региональных землетрясений для 24-часового ритма согласно методике, описанной в [16, 17], можно давать прогноз событий с  $M_w \geq 7.5$  с упреждением около недели, если уже имеется прогноз места землетрясения. 3 марта 2011 г. в Камчатский филиал Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений был представлен четвертый прогноз для зоны затишья ( $35^\circ$ – $40^\circ$  с.ш.) в Японии в реальном времени по комплексу шести предвестников: «ожидается землетрясение с  $M = 8$  и более, и не одно событие, а более одного», так как форшоков было 2. Спустя 8 суток этот прогноз для события 11.03.2011 г.,  $M_w = 9.1$  и его афтершока с  $M_w = 7.9$  оправдался [17]. Таким образом, эффект синхронизации фаз для разных ритмов проявляется по разному, но его можно использовать для долгосрочных и оперативных прогнозов сильных землетрясений.

Рассмотрим теперь резонансные ритмы, связанные с 1.0 г. На основе спектрального анализа колебаний географического полюса выявлены годовой и два чандлеровских ритма 425 и 437 суток [2]. В работе [13] впервые показано, что чандлеровские ритмы являются резонансными, т.к. связаны с годовым ритмом 1.0 г. Первый ритм соответствует формуле  $(7/6) \cdot (1.0 \text{ г.}) = 1.1666(6) \text{ г.} = 426.12$  суток, второй – формуле  $1.2 \text{ г.} = (6/5) \cdot 1.0 \text{ г.} = 438.29$  суток. Первый ритм проявился в виде значимого отклика на четвертую долю чандлеровского ритма  $1.1666(6) \text{ г.}$ , т.к.  $(7/24) \cdot 1.0 \text{ г.} = (7/24) \text{ г.} = 0.29166(6) \text{ г.}$   $P = 0.00002$ . Для момента времени 2519.5395 г. (строка 9 таблицы) чандлеровский ритм приурочен к его неактивной фазе. Поэтому в 2519 г. землетрясение с  $M_w \geq 9.0$  не ожидается. Наоборот, дата 2623.1210 (строка 10) лежит в активной фазе чандлеровского ритма, следовательно, землетрясение ожидается.

Возникает вопрос, почему после землетрясения 11.03.2011 г.,  $M_w = 9.1$  до 2519 г. фазовая синхронизация для резонансных ритмов не выявлена. Вероятно, события с  $M \geq 9.0$  в предыдущем цикле резонанса  $T_{цикл}$  не известны или их не было. При прогнозе событий в прошлое они могли

быть в 956.05 г., 1059.63 г., 1171.1 г., 1178.94 г., 1182.49 г. и 1223.49 г. Эти вопросы следует по возможности рассмотреть в отдельной работе.

### **О физической природе резонансных ритмов и роли механизма геодинамо в жидком ядре Земли**

Рассмотрим возможный механизм связи возмущающих и резонансных ритмов с сильными землетрясениями. Главное геомагнитное поле имеет внутриземное происхождение и объясняется возникновением в жидком ядре Земли радиально ориентированных встречных потоков электропроводящего вещества (диполей), т.е. поле связывают с механизмом геодинамо [5, 7–9]. Геодинамо представляет сложную колебательную систему с характерным спектром магнитогидродинамических колебаний от долей минут до 10 тысяч лет [5], поэтому можно предположить, что именно в этом диапазоне «защиты» резонансные ритмы. Процессы генерации магнитного поля [7, 8] приводят к тому, что хаотично движущиеся электроны ядра за счет силы Лоренца, перпендикулярной оси диполей, дрейфуют к границе ядро-мантия. Магнитная энергия ядра на 3–4 порядка превышает энергию других крупномасштабных движений [8], поэтому, на наш взгляд, *при скачках увеличения и уменьшения угловой скорости вращения жидкого ядра дрейф электронов к границе ядро-мантия может приобретать лавинный характер и тогда на ней появится значительный электрический заряд*. Он должен быстро разрядиться в сфероидальных слоях высокой проводимости и пониженной скорости в верхней мантии и литосфере вблизи границ тектонических плит, где происходят наиболее сильные землетрясения. Этот общепланетарный процесс приводит к группированию во времени мировых землетрясений, к появлению в приземном слое атмосферы аномалий градиента потенциала электрического поля, к появлению других предвестников, в том числе оперативных и удаленных [13, 14, 17]. Более полное описание этого механизма и конкретные пояснения к нему приведены в работах [13, 14].

Полученные результаты в этой и более ранних работах позволяют сделать вывод о неслучайности возникновения сильных землетрясений и вулканических извержений, их детерминированной связи с целочисленными резонансными ритмами и процессами геодинамо в жидком ядре Земли, о резонансной природе процессов разрушения геосреды при катастрофических природных событиях. Поэтому нашу планету можно рассматривать как многоритмичный резонатор в гравитационно-устойчивой системе Солнце–Земля–Луна.

В заключение выражаем благодарность с.н.с. КФ ФИЦ ЕГС РАН Ю.К. Серафимовой и зав. лаб. кафедры физики Земли МГУ В.В. Сергееву за обсуждение и поддержку работы.

В связи с безвременным уходом из жизни 21.09. 2018 г. д.ф.-м. н., зав. лаб. КФ ФИЦ ЕГС РАН А.А. Гусева, выдающегося российского сейсмолога и геофизика мирового уровня, автора научных открытий, блестящих фундаментальных и прикладных научных работ, в частности, применявшейся в России и на Камчатке новой методики Общего сейсмического районирования, замечательного человека и товарища, патриота Камчатки и России, хочется сказать о нём добрые слова. Он щедро делился своими знаниями, поражал эрудицией, давал полезные советы, по дружески указывал на слабые места наших исследований. Его нам будет не хватать.

### **Список литературы**

1. Бялко А.В. Наша планета – Земля. Библиотечка Квант. Вып. 29. М.: Наука, 1989. 240 с.
2. Викулин А.В., Кролевец А.Н. Чандлеровские колебания полюса и сейсмотектонический процесс // Геология и геофизика. 2001. № 6. С. 996–1009.
3. Гусев А.А. Прогноз землетрясений по статистике сейсмичности // Сейсмичность, сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке. Новосибирск: Наука, 1974. С.109–119.
4. Гусев А.А. О реальности 56-летнего цикла и повышенной вероятности сильных землетрясений в Петропавловске-Камчатском в 2008-2011 гг. согласно лунной цикличности // Вулканология и сейсмология. 2008. № 6. С. 55–65.
5. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1983. 415 с.
6. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии. М.: Физматгиз, 1961. 494 с.
7. Расулов Д.Х. Геомагнетизм и геоэлектричество. Происхождение и взаимосвязь. Ташкент: Изд. «ФАН» АН Республики Узбекистан, 2007. 235 с.
8. Соколов Д.Д. Геодинамо и модели генерации геомагнитного поля (обзор) // Геомагнетизм и астрономия. 2004. Т. 44. № 5. С. 579–589.
9. Френкель Я.И. Земной магнетизм // Известия АН СССР. Сер. физ. 1947. № 6. С. 607–616.

10. Широков В.А. О ключевой роли целочисленных резонансов при изучении причин возникновения 22-летних циклов солнечной активности и сильных мировых землетрясений // Материалы Четвертой региональной научно-технической конференции «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России». 29.09– 5.10.2013 г. Петропавловск-Камчатский. Отв. ред. В.Н. Чебров. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 210–214.
11. Широков В.А. О ключевой роли целочисленных резонансов при изучении причин возникновения сильных мировых и региональных (Камчатка, Курильские о-ва) землетрясений и оценка сейсмической опасности для г. Петропавловска-Камчатского // Материалы Четвертой региональной научно-технической конференции «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России». 29.09– 5.10.2013 г. Петропавловск-Камчатский. Отв. ред. В.Н. Чебров. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 419–423.
12. 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». Обнинск: ГС РАН, 2015. С. 306–310.
13. Широков В.А. Долгосрочно-краткосрочный прогноз землетрясений района желоба Нанкай (Япония) с  $M \geq 8.2$  до 3500 г. с о временем тревоги 196 суток // Материалы Шестой научно-технической конференции «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России». Петропавловск-Камчатский. 1- 7 октября 2017 г. / Отв. ред. Д.В. Чебров. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С. 201–205.
14. Широков В.А., Бузевич А.В., Широкова Н.В. О причинах появления «удаленных» геофизических предвестников, регистрирующихся на заключительной, около недели, стадии подготовки сильных мировых землетрясений // Сборник докладов V Международной конференции «Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений», с. Паратунка, Камчатский край. 2–7 августа 2010 г. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2010. С. 478–482.
15. 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. // Материалы XXII региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога. 29–30 марта 2019 г., г. Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2019. С. 150–154.
16. Широков В.А., Фирстов П.П., Макаров Е.О. О возможности ретроспективного прогноза магнитуды и места с упреждением до недели Симуширского землетрясения 15.11.2006 г.,  $M_w=8.3$  (Курильские о-ва) по комплексу геохимических, мировых и региональных сейсмологических данных // Материалы Пятой научно-технической конференции «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России». Петропавловск-Камчатский. 27 сентября – 3 октября 2015 г. / Отв. Ред. В.Н.Чебров. Обнинск: ГС РАН, 2015. С. 467–471.
17. Широков В.А., Фирстов П.П., Макаров Е.О., Степанов И.И., Степанов В.И. Возможный подход к краткосрочному прогнозу сильных землетрясений на примере Тохоку (Япония) 11 марта 2011 г.,  $M_w=9.0$  // Сейсмические приборы. 2014. Т. 50. № 4. С. 5–22.
18. Laplace P.S. Theorie des satellites de Jupiters (suite) // Memories de Academic Royale des Sciences de Paris. France. Berlin, 1789. P. 237–296.