

## 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 НА БЛИЖАЙШИЕ 40 ЛЕТ

Широков В.А.

Камчатский филиал ГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, [shirokov@emsd.ru](mailto:shirokov@emsd.ru)

### Введение

Поясним термин *целочисленный резонанс*. Если отношение двух частот (или периодов) колебаний или частот вращения кратны отношению целых чисел, то говорят, что они находятся в целочисленном резонансе. Важность этого физического явления состоит в том, что при резонансе обязательно происходит взаимодействие тел, которое поддерживает целочисленную кратность частот, что и предопределяет устойчивость резонанса [2]. В общем случае для двух периодов  $T_x$  и  $T_y$  резонанс будет целочисленным, если выполняется приближенное равенство

$$nT_x \approx mT_y \quad (1),$$

где  $n$  и  $m$  - целые положительные числа. При этом должно выполняться условие: параметр резонанса  $d$ , являющийся частным от деления модуля относительной разницы  $|nT_x - mT_y|$  на максимальное из двух значений  $nT_x$  и  $mT_y$ , соответствует некоторому условно выбранному малому значению  $d$  (принято  $d \leq 10^{-3}$ ). Допустим, что в (1)  $mT_y \leq nT_x$  (можно и наоборот). Тогда  $d = (nT_x - mT_y)/nT_x = (1 - mT_y/nT_x) \leq 10^{-3}$ . Отсюда получаем, что  $(1 - 10^{-3}) = 0.999 \leq mT_y/nT_x$  или  $mT_y/nT_x \geq 0.999$ . Это достаточно жесткое условие резонанса. Для резонансных явлений, связанных с землетрясениями, принято, что периоды ритмов  $T_x$  и  $T_y$  должны определяться с точностью не хуже, чем до одной тысячной доли года. Такие ритмы именуется *устойчивыми*. Поясним, как обеспечивается устойчивость резонанса. Одним из ключевых параметров резонанса является *период полного цикла резонанса*  $T_{xy}$ . Этот период является среднегеометрическим значением левой и правой частей уравнения (1), т.е. равен положительному значению квадратного корня из произведения  $nT_x mT_y$ . Через каждый период полного цикла целочисленный резонанс повторяется заново, чем и определяется его устойчивость. Еще одно условие состоит в том, что  $m$  и  $n$  не должны иметь общего делителя, поэтому не должны делиться без остатка на любое (кроме 1) целое число, что означает, что находятся минимальные значения пары чисел  $n$  и  $m$ . Рассмотрим предельный случай, когда левая и правая части (1) равны. Тогда период полного цикла равен  $nT_x = mT_y$ . Поэтому период полного цикла можно считать основным тоном для двух ритмов, а сами ритмы являются его  $n$ -ой и  $m$ -ой гармониками. При использовании метода целочисленных резонансов необходимо выполнение всех указанных выше условий. Далее вместо слов *целочисленный резонанс* часто слово *целочисленный* опускается. Интерес к изучению явления целочисленного резонанса понятен, так как, в связи с его устойчивостью, он предсказуем. Это и является основой прогнозов. Но каждому известны со школьной скамьи и разрушительные свойства резонанса, в частности, в отношении различных технических устройств. Возникает вопрос, не являются ли целочисленные резонансы причиной возникновения сильных землетрясений, вулканических извержений и других природных катастрофических явлений. В такой постановке этот вопрос не рассматривался.

### Методика долгосрочного прогноза землетрясений на основе использования целочисленных резонансов

При выявлении резонансов необходимо сначала найти как минимум два устойчивых ритма, для которых выполняются условия резонанса, и написать уравнение (1). Для любого устойчивого ритма с периодом  $T_1$  фаза события  $\Phi(T_1)$ , произошедшего в момент времени  $t$  по Гринвичскому времени, рассчитывается по формуле

$$\Phi(t) = (t - t_{01})/T_1 - \text{entire}((t - t_{01})/T_1) \quad (2)$$

где  $\text{entire}$  - целая часть, а  $t_{01}$  - условно выбранная начальная нулевая дата, которая должна быть по времени меньше даты любого события каталога. Фаза  $\Phi$  меняется от 0 до 1 по кольцу, поэтому  $\Phi=0.0$  и  $\Phi=1.0$  тождественно равны. Даты последовательных нулевых фаз ритмов рассчитываются по очевидной формуле  $D(\Phi_{10}) = t_{01} + n \cdot T_1$ , где  $n=0,1,2,3,4$  и т.д.

После написания уравнения (1) необходимо отобразить события по фазам двух совместно рассматриваемых ритмов  $\Phi_x$  (горизонтальная ось) и  $\Phi_y$  (вертикальная ось) в площади фазового квадрата ( $\Phi_x, \Phi_y$ ) с использованием затем метода фазовых траекторий (МФТ) [11,15] для расчета «опасных» временных интервалов.

В целом алгоритм прогноза состоит из следующих процедур: 1) получение по возможности однородного по магнитуде каталога событий за длительный срок; 2) выявление минимум двух устойчивых ритмов, для которых составляется уравнение резонанса (1) с оценкой параметра  $d$ ; 3) оценка статистической значимости неравномерного распределения событий по фазам каждого ритма; 4) отображение событий каталога в плоскости фазового квадрата ( $\Phi_x, \Phi_y$ ) с целью выявления «опасных» окон и расчета «опасных» временных интервалов будущих событий; 5) оценка эффективности прогноза по ретроспективным данным по определению А.А.Гусева [4]; 6) оценка вероятности возникновения будущих событий в «опасных» интервалах и вне их.

### **Исходные данные о землетрясениях**

*Сильные землетрясения Камчатки с 1737 г. с глубиной до 125 км.* Список землетрясений Камчатки с точностью временной привязки до двух месяцев в полосе широт от  $51^{\circ}$  до  $57^{\circ}$  с.ш. и долгот от  $155^{\circ}$  до  $163.5^{\circ}$  в.д. составлен для событий с моментной магнитудой  $M_w \geq 7.5$  [5], происшедших к западу от глубоководного желоба. События 23.11.1899 г. и 6.09.1866 г. исключены как ошибочные [3, 9, 10]. Список включает 20 событий с  $M_w \geq 7.5$  из [5], для которых указаны год, месяц, дата и в скобках –  $M_w$  и после тире балльности (если она равна или более 6) в г.

Петропавловске-Камчатском по 12-балльной шкале MSK-64:

1737/10/17 (9.2-8.5), 1737/11/04 (8.0), 1742/11/18 (7.5), 1790/12/02 (7.5), 1791/04/15 (7.5), 1792/08/23 (8.8-8), 1841/05/17 (9.0-8), 1848/июнь-сентябрь (7.5), 1854/06/27 (7.7), 1904/06/25 (7.5-8), 1923/02/03 (8.5-6), 1923/02/24 (7.6), 1923/04/13 (7.7), 1927/12/28 (7.5), 1952/11/04 (9.0-7), 1959/05/04(8.0-8), 1971/11/24 (7.5-7), 1971/12/15 (7.8), 1993/06/08 (7.5), 1997/12/05 (7.8-6).

*Землетрясения Курильских о-вов с глубиной до 100 км.* В список включены 14 событий в полосе широт от  $41.8^{\circ}$  до  $49^{\circ}$  с. ш. с  $M \geq 7.8$  и глубиной до 100 км [7] за период 1843-2000 гг. и далее по данным NEIC GS USA. В скобках указана магнитуда и глубина очагов в км: 1843/04/25 ( $M_{8.2}$ , 40 км), 1906/04/06 (7.8, 40), 1915/05/01 (8.3, 30), 1918/09/07 (8.2, 40), 1918/11/08 (7.9, 40), 1952/03/04 (8.3, 50), 1958/11/06 (8.2, 40), 1963/10/13 (8.1, 47), 1969/08/11 (8.2, 40), 1973/06/17 (7.9, 55), 1994/10/04 (7.9, 26), 2003/09/25 ( $M_w 8.5$ , 33), 2006/11/15 ( $M_w 8.3$ , 10), 2007/01/13 ( $M_w 8.1$ , 10).

*Глубокие землетрясения Курило-Камчатской зоны с глубиной более 300 км.* В список включены 13 землетрясений с  $M \geq 7.3$  в полосе широт от  $43.6^{\circ}$  до  $54.9^{\circ}$  с.ш. за период 1900-2000 гг. из [7] и далее по данным NEIC GS USA в шкале  $M_w$ . В скобках даны  $M$  и  $H$  в км.

1902/06/11 ( $M_{8.0}$ , 600 км), 1907/05/25 (7.4, 600), 1917/07/31 (7.5, 460), 1918/01/30 (7.7, 350), 1931/02/20 (7.3, 350), 1940/07/10 (7.3, 580), 1943/11/28 (7.6, 350), 1950/02/28 (7.8, 340), 1957/01/03 (7.4, 570), 2008/07/05 ( $M_w 7.7$ , 630), 2008/11/24 ( $M_w 7.3$ , 392), 2012/08/14 ( $M_w 7.7$ , 500), 2013/05/24 ( $M_w 8.3$ , 609). Наиболее сильным было событие на Камчатке 24.05.2013 г. с  $M_w=8.3$ .

*Сильные мировые землетрясения.* Список 18 землетрясений с  $M_w \geq 8.6$  с 1600 г. приведен в другом сообщении автора, представленном на конференцию.

### **Долгосрочные прогнозы землетрясений мира, Камчатки и Курильских о-вов**

В другом сообщении автора, представленном на конференцию, показано, что наряду с астрономическими ритмами впервые рассчитаны другие устойчивые ритмы, связанные с лунным ритмом 18.613 г. целочисленными резонансами. К ним относятся ритмы **9.781 г.**, **17.1539 г.**, **26.0582 г.**, **130.291 г.**, которые используются далее для задач прогноза.

*Прогноз землетрясений Камчатки.* Формула резонанса:  $3 \cdot (2 \cdot 26.0582 \text{ г.}) = 3 \cdot 52.1164 \text{ г.} \approx 16 \cdot 9.781 \text{ г.}$ ,  $d=0.95 \cdot 10^{-3}$ . Полный цикл резонанса равен 156.423 г. При оценках вероятности распределения 20 событий по фазам ритмов по формуле Бернулли [1] значимыми являются ритмы 52.1164 г. и **9.781 г.**  $d/2=4.8905 \text{ г.}$  Но вместо последнего ритма используется ритм **9.781 г.**, для которого все события с  $M \geq 7.6$  ( $N=12$ ) неслучайно приурочены к трем небольшим по площади «опасным» окнам (рис. 1 а). Вне окон оказались только два ( $M_w=7.5$ ) из 20 событий. Нулевая дата ритмов - 1700.0 г. Текущая фазовая траектория, начинающаяся с даты 2012.840 г. (черный треугольник), впервые пересекает «опасное» окно в интервале декабрь 2049 г. – январь 2051 г. (вероятность возникновения одного или более событий в нем  $p=0.5$ ) и далее в период декабрь 2053 г. – ноябрь 2055 г. ( $p=0.5$ ). «Пауза» длительностью 37 лет характерна только для начальной третьей части полного цикла 156.423г. В двух предыдущих 37-летних «паузах» 156-летнего цикла события с  $M \geq 7.0$  не известны.

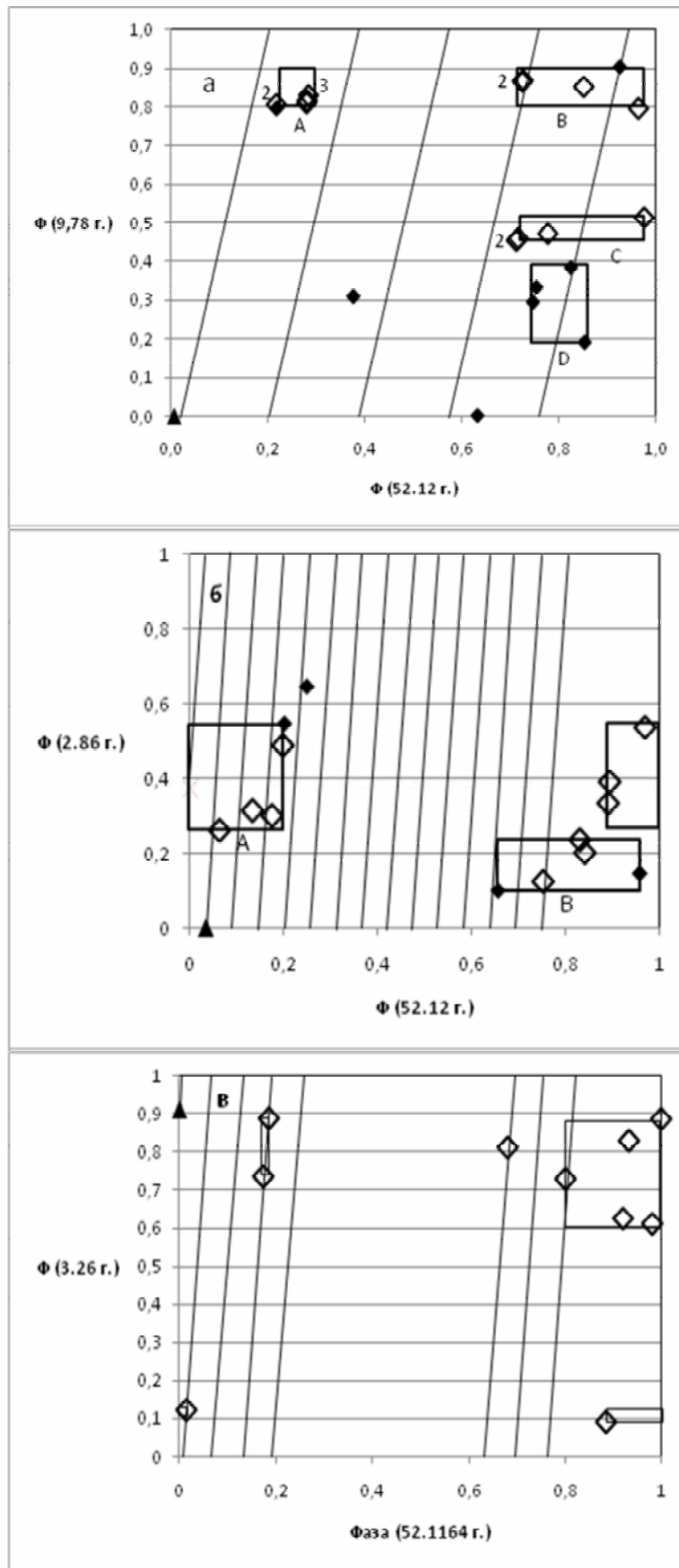


Рис. 1. Совместное распределение по фазе двух ритмов сильных землетрясений Камчатки (а), Курильских о-ов (б) и глубоких курило-камчатских землетрясений. В трех фазовых квадратах выделены прямоугольные «опасные» окна, текущие фазовые траектории (наклонные линии), начинающиеся с черных треугольников. Землетрясения обозначены ромбами (более сильные события в виде светлых ромбов).

В этих двух «паузах» сотрясений более 5 баллов на средних грунтах г. Петропавловска-Камчатского не отмечено. Поэтому вероятность  $p$  возникновения на Камчатке «опасных» событий с  $M_w \geq 7.7$  и сотрясений силой 8 и более баллов в краевом центре в этот период весьма мала. Допустим, что одно из таких событий все-таки произошло. Тогда для пуассоновского потока событий в «паузах» получим оценку  $p=0.12$ , которую можно считать максимальной. Эффективность прогноза  $I$  по ретроспективным данным равна отношению доли попавших в «опасные» окна событий ( $18/20=0.90$ ) к доле площади четырех «опасных» окон ( $0.0715$ ) относительно площади фазового квадрата, принятой за 1. В итоге  $I=12.6$ .

*Прогноз землетрясений Курильских о-вов с глубиной очагов до 100 км.* Используются значимые ритмы 52.1164 г. и 6-ая гармоника рассчитанного устойчивого ритма 17.1539 г., т.е. ритм 2.858983(3) г. Формула резонанса для землетрясений с  $M \geq 7.8$  имеет вид  $35 \cdot 52.1164 \text{ г.} \approx 638 \cdot 2.859 \text{ г.}$ ,  $d=0.23 \cdot 10^{-4}$ . Полный цикл ритмов равен 1824.052 г. Начальная нулевая дата ритмов – 1700.0 г. В фазовом квадрате выделены только два «опасных» окна, к которым приурочены 13 из 14 событий. Эффективность прогноза  $I=7.1$ . Текущая фазовая траектория (рис. 1 б) трижды пересекает «опасное» окно в интервалах апрель 2015 – февраль 2016 гг., февраль 2018 – декабрь 2018 гг., декабрь 2020 – октябрь 2021 гг. Затем наступает «пауза» длительностью более 27 лет, после которой события ожидаются в интервале январь 2049 – июнь 2049 гг. В «опасных» интервалах вероятность возникновения одного или более событий  $p \approx 0.3$ . Для «паузы»  $p \approx 0.3$ .

*Прогноз глубоких курило-камчатских землетрясений.* Для 10 глубоких землетрясений с  $M \geq 7.4$  и глубиной более 300 км используются значимые ритмы 52.1164 г. и третья гармоника ритма **9.781** г., т.е. ритм **9.781** г.  $/3= 3.2603(3)$  г. Вероятности случайного распределения событий по фазе ритмов 52.1164 г. и 3.2603(3) г. соответственно равны  $1.1 \cdot 10^{-3}$  и  $1.2 \cdot 10^{-3}$ . Формула резонанса имеет вид  $52.1164 \text{ г.} \approx 16 \cdot 3.2603(3) \text{ г.}$ ,  $d=0.94 \cdot 10^{-3}$ . Начальная нулевая дата ритмов – 1700.0 г. Полный цикл резонанса равен 52.141 г. 9 из 10 событий приурочены к «опасным» окнам.  $I=14.9$ . Текущая фазовая траектория впервые пересекает «опасное» окно в интервале декабрь 2021 – май 2022 гг. Затем следует «пауза» длительностью 32 года, после которой события ожидаются в интервале июнь 2054 – январь 2055 гг. Для одного или более событий в «паузе»  $p=0.26$ . Землетрясения на таких глубинах опасности для населения не представляют.

*Прогноз сильных мировых землетрясений.* Прогноз обсуждался в другом сообщении автора. Показано, что по двум парам ритмов  $I=11.3$ . В период 2013- сентябрь 2060 г. «опасным» является только интервал октябрь 2015 г. - март 2017 г. Если использовать представительную статистику с 1900 г., то вероятность в этом интервале длительностью 1.5 г. событий с  $M_w \geq 8.6$  составит 0.6. С апреля 2017 г. появляется «пауза» длительностью 43.5 г., в которой вероятность близких к представительным землетрясений с  $M_w \geq 8.8$  близка к 0.1.

## Выводы

Полученные результаты приводят к выводу, что причиной возникновения землетрясений являются целочисленные резонансы, проявляющиеся в виде статистически значимого сейсмического отклика мировых и региональных землетрясений на астрономические и другие рассчитанные нами устойчивые ритмы. Можно предположить, что резонансным явлениям подвержены Земля в целом, ее геоболочки, тектонические плиты, субрегиональные и региональные структурные зоны.

Сопоставляя сделанные долгосрочные прогнозы, полученные на основе метода резонансов, можно отметить, что одновременно для всех четырех рассматривавшихся сейсмоактивных зон, включая Землю в целом, в период ноябрь 2021 г.- ноябрь 2048 г. наблюдается 27-летняя сейсмическая «пауза», в которой сильные события маловероятны. Это связывается с выраженной синхронностью общепланетарных и региональных сейсмотектонических процессов.

Согласно прогнозу для Камчатки выявлена 37-летняя сейсмическая «пауза» для периода октябрь 2012 г.- ноябрь 2049 г. Ранее в двух аналогичных 37-летних «паузах» землетрясения с  $M_w \geq 7.0$  и сотрясения в краевом центре силой более 5 баллов не отмечались. Если все-таки допустить, что хотя бы одно событие с  $M_w \geq 7.7$  в «паузах» наблюдалось, расчеты показывают, что в указанном интервале на расстояниях до 200 км от г. Петропавловска-Камчатского вероятность возникновения землетрясений с  $M_w \geq 7.7$  не превышает 0.12. Но лишь 6 из 20 ( $6/20=0.3$ ) событий приводят к сотрясениям в краевом центре силой 8 и более баллов по шкале MSK-64 на средних грунтах. Поэтому для таких сотрясений вероятность  $p=0.12 \cdot 0.3=0.036$ , т.е. мала. Хотелось бы отметить, что если сейсмоукрепление краевого центра и окрестных населенных пунктов будет осуществлено для жилых зданий и других сооружений до расчетного сейсмического балла, то для жизни населения землетрясения серьезной опасности представлять не будут.

Автор выражает благодарность за конструктивную критику, замечания и полезные советы при выполнении работ по тематике прогноза членам Камчатского филиала Российского экспертного совета КФ ГС РАН по прогнозированию землетрясений и оценке сейсмической опасности А.А.Гусеву, Ю.К.Серафимовой и председателю КФ РЭС В.Н.Чеброву. Выражаю также благодарность Н.В.Широковой за многолетнюю помощь при проведении исследований.

### Список литературы

1. Большев М.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: Наука. 1965. 464 с.
2. Бялко А.В. Наша планета – Земля. Библиотечка Квант. Вып. 29. М.:Наука. 1989. 240 с.
3. Годзиковская А.А. Каталог макросейсмических описаний землетрясений камчатского региона за доинструментальный период наблюдений (XVIII-XIX вв.). Обнинск: ГС РАН, 2009. 128 с.
4. 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.
5. 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. № 5. 2008. С. 55-65.
6. 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.
7. Ким Чун Ун, Андреева М.Ю. Каталог землетрясений Курило-Камчатского региона (1737-2005 гг.). Препринт. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН.2009. 126 с.
8. Ламакин В.В. О периодичности байкальских землетрясений // ДАН СССР. 1966. Т. 130. № 2. С. 210-213.
9. Прибылова Н.Е. Аргументы против отнесения эпицентра землетрясения 6 сентября 1866 г. к району г. Петропавловска-Камчатского // Материалы международного симпозиума «Проблемные вопросы островной и прибрежной сейсмологии (ОПС- 2005)». Южно-Сахалинск. 2005. с. 105.
10. Прибылова Н.Е., Бесстрашнов В.М., Годзиковская А.А. Принадлежит ли очаг землетрясения 23.11.1899 г. Камчатской сейсмоактивной зоне // Вулканология и сейсмология. № 2. 2006. С. 46-54.
11. Серафимова Ю.К., Широков В.А. Прогнозирование сильных землетрясений, вулканических извержений и цунами для различных регионов Земли на основе изучения их связи с лунным приливом 18.6 г. и 22-летним Хейловским циклом солнечной активности // Сейсмологические и геофизические исследования на Камчатке. К 50-летию детальных сейсмологических наблюдений. Под ред. Гордеева Е.И., Чеброва В.Н. Петропавловск-Камчатский: Холд. комп. «Новая книга». 2012. С. 305-328.
12. Широков В.А. Влияние космических факторов на геодинамическую обстановку и ее долгосрочный прогноз для северо-западной части Тихоокеанской тектонической зоны // Вулканизм и геодинамика. М.: Наука. 1977. С. 103-115.
13. 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.
14. Широков В.А. Опыт краткосрочного прогноза времени, места и силы камчатских землетрясений с магнитудой  $M=6-7.8$  по комплексу сейсмологических данных // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. ИВГиГ ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский. 2001. С. 95-116.
15. Широков В.А., Серафимова Ю.К. О связи 19-летнего лунного и 22-летнего солнечного циклов с сильными землетрясениями и долгосрочный сейсмический прогноз для северо-западной части Тихоокеанского пояса // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 2. Выпуск № 8. С. 120-133.