

ПРЕДВЕСТНИКИ КАМЧАТСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 2013-2016 гг., ВЫЯВЛЕННЫЕ ПО МЕТОДИКЕ ВСШ

Салтыков В.А.

*Камчатский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН»,
г. Петропавловск-Камчатский, salt@emsd.ru*

Анализ данных, полученных в течение последних 30 лет, выявил ряд особенностей, которые свидетельствуют о модуляции высокочастотного сейсмического шума (ВСШ) приливами и связи ВСШ с различными геофизическими процессами, в том числе с изменением напряженного состояния среды в процессе подготовки землетрясений [2, 3, 5, 6]. Эти работы носят не только фундаментальный, но и прикладной характер, что связано с актуальностью проблемы сейсмического прогноза. Обнаружено важное свойство отклика ВСШ на приливное воздействие: эффект не является стабильным во времени. В 90-х годах по результатам исследований ВСШ на Камчатке выдвинута гипотеза о связи вариаций фазы приливной компоненты ВСШ с геодинамическими процессами в регионе. Позднее на основе многолетних натуральных наблюдений было показано, что приливная чувствительность ВСШ наиболее стабильна и статистически значима в период подготовки сильных локальных землетрясений.

Обнаруженный эффект синхронизации процессов лег в основу методики прогноза сильных локальных землетрясений по изменению характера отклика ВСШ на приливное воздействие. Оригинальным в данной методике является использование земных приливов, обусловленных лунно-солнечным гравитационным воздействием, в качестве калибровочного (эталонного) сигнала с известными характеристиками при изучении закономерностей микросейсмического излучения.

Базовым элементом методики является экспериментально выявленный в 1992–1995 гг. эффект стабилизации фазового сдвига $\Delta\varphi$ между выбранной волной приливного гравитационного потенциала и выделенной из рядов огибающей ВСШ гармоникой с соответствующим приливным периодом. Этот параметр рассчитывается через временное рассогласование между определенной приливной волной и компонентой огибающей ВСШ с тем же периодом. Синхронизация ВСШ с внешним приливным воздействием, проявляющаяся в виде стабилизации фазового сдвига, рассматривается как прогностический признак и является новым, ранее не обнаруженным предвестником землетрясений [1] (Рис. 1).

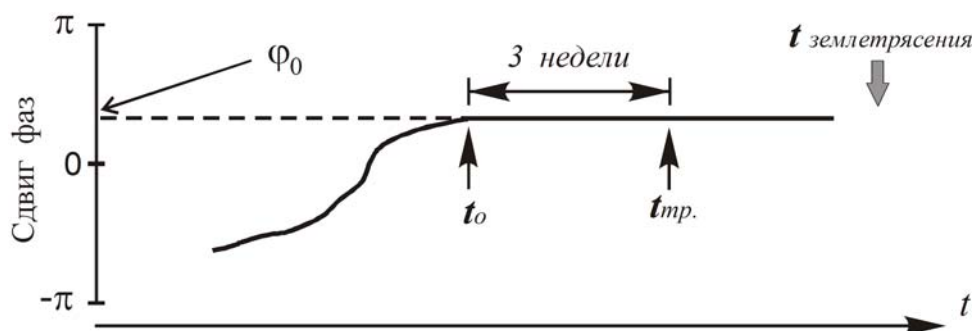


Рис. 1. Схематическое изображение рассматриваемого предвестника землетрясения. Начало стабилизации фазового сдвига φ_0 определяет начало проявления предвестника t_0 . Тревога подается в случае продолжительности стабилизации $(t_{тр} - t_0) \geq 3$ недели.

Действующий в настоящее время вариант методики описан в [4], и ее ключевыми пунктами являются следующие:

1. Предвестник: стабилизация фазового сдвига между выбранной волной приливного гравитационного потенциала и выделенной из рядов огибающей ВСШ гармоникой с соответствующим приливным периодом продолжительностью 3 недели;
2. Момент подачи тревоги (прогнозного заключения): достижение стабилизацией продолжительности $(t_{тр} - t_0) = 3$ недели;
3. Параметры ожидаемого землетрясения: прогнозируются землетрясения с магнитудой $M \geq M_0 = 5.0$ на глубине до 300 км. Предельное эпицентрального расстояние R связано с ожидаемой

магнитудой M и определяется соотношением $\lg R = \frac{M + 3.64}{4.06}$.

4. Период упреждения прогноза (промежуток времени, на который разрабатывается прогноз): прогноз дается первоначально на 2 недели, с возможной пролонгацией;

5. Снятие тревоги при отсутствии ожидаемого землетрясения (ложная тревога): тревога снимается через 2 недели после окончания стабилизации фазы;

6. Успешный (оправдавшийся) прогноз: землетрясение с магнитудой $M \geq M_0 = 5.0$, произошедшее на глубине до 300 км и на эпицентральной дистанции R : $\lg R \leq \frac{M + 3.64}{4.06}$ во временном интервале,

объявленном тревогой;

7. Снятие тревоги после оправдавшегося прогноза: произошедшее землетрясение с магнитудой M_1 , удовлетворяющее условиям п. 3, снимает прогноз землетрясения с магнитудой в диапазоне $[M_0; M_1]$ досрочно. Время тревоги составляет $(t_{\text{землетрясения}} - t_{\text{тр}})$. Прогноз относительно $M \geq (M_1 + 0.1)$ остается в силе с соблюдением условий п. 3 (диапазон глубин и соотношение “эпицентральное расстояние–магнитуда”) и п. 5 (снятие тревоги).

8. Вероятность прогноза: прогноз носит вероятностный характер, определяемый специальной номограммой. Вероятность пропуска цели определяется соответствующей номограммой.

Также в работе [4] приведены такие важные характеристики прогностической методики, как эффективность предвестника, его надежность и достоверность в зависимости от диапазона прогнозируемых магнитуд.

Учитывая, что работа [4] и описанная в ней прогностическая методика основаны на наблюдениях ВСШ до середины 2013 г., представляет интерес рассмотреть результаты ее использования в последующее время. Здесь следует отметить, что станция “Начики” была закрыта в сентябре 2015 г. по независящим от КФ ГС РАН причинам.

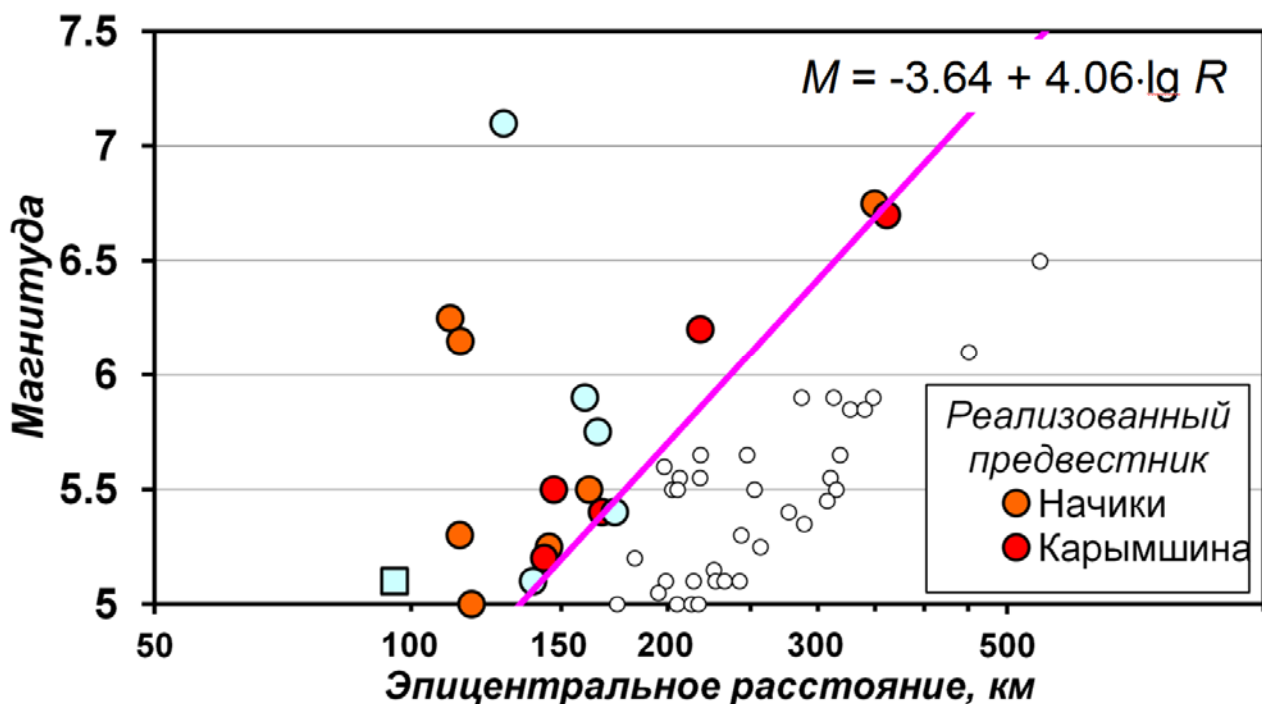


Рис. 2. Произошедшие с сентября 2013 г по май 2016 г. землетрясения Камчатки в координатах «магнитуда – эпицентральное расстояние». Прямая линия соответствует нижнему порогу магнитуды прогнозируемого события в зависимости от эпицентрального расстояния. Темные большие кружки соответствуют землетрясениям с предвестником, светлые большие – без предвестника. Мелкие кружки обозначают землетрясения, для которых предвестник не предполагается согласно методике. Квадрат соответствует землетрясению 15 ноября 2015 г. с $ML5.1$ (пояснение в тексте).

С сентября 2013 г. по май 2016 г. произошло 18 землетрясений, соответствующих прогнозируемому типу (по соотношению магнитуда – расстояние) (Рис. 2). Для землетрясений, которые имели предвестник, выделенный по методике ВСШ, в таблице представлены временные участки стабилизации фазового сдвига по данным станций “Начики” и “Карымшина” с отмеченным

временем землетрясения, положение его эпицентра, а также дата подачи прогнозного заключения в Камчатский филиал Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений.

Таблица.

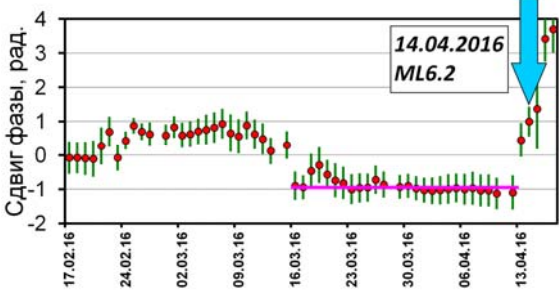
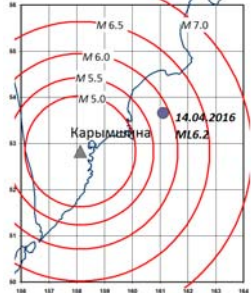
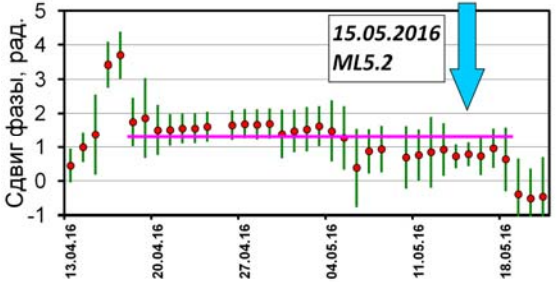

№	Временной ход $\Delta\varphi$	Положение эпицентра	Примечания
1			<p>Дата подачи прогноза 22.10.2013 Время тревоги – 10 суток.</p>
2			<p>Дата подачи прогноза 18.02.2014 Время тревоги – 20 суток.</p>
3			<p>Предвестник выявлен ретроспективно</p>

Примечание. Стрелка указывает время землетрясения. Горизонтальная линия отмечает участок стабилизации фазы. Концентрические окружности соответствуют максимальному эпицентральному расстоянию для ожидаемого землетрясения указанной магнитуды. Время тревоги приведено для реально поданных прогнозов.

Таблица (продолжение).

<p>4</p>			<p>Дата подачи прогноза 12.12.2014 Время тревоги – 11 суток.</p>
<p>5</p>			<p>Предвестник выявлен ретроспективно</p>
<p>6</p>			<p>Дата подачи прогноза 02.04.2015 Время тревоги – 8 суток.</p>
<p>7</p>			<p>Дата подачи прогноза 06.11.2015 Время тревоги I – 6 суток. Время тревоги II – 13 суток.</p>
<p>8</p>			<p>Дата подачи прогноза 26.02.2016 Время тревоги – 23 суток.</p>

Таблица (продолжение).

9			Предвестник выявлен ретроспективно
10			Дата подачи прогноза 12.05.2016 Время тревоги – 3 суток.

Обратим внимание на предвестник №3 и №7. В соответствии с методикой (п. 7) произошедшее 24 сентября 2014 г. землетрясение с $ML5.3$ не остановило ожидание более сильного события. В этом случае следующее землетрясение – 2 октября 2014 г. $ML6.3$ также соответствует прогнозу. Похожая ситуация наблюдалась и для предвестника №7: землетрясение 19 ноября 2015 г. имеет большую магнитуду ($ML5.5$), чем землетрясение 12 ноября 2015 г. – $ML5.4$. Поэтому оба эти землетрясения можно считать спрогнозированными. Однако, землетрясение 15 ноября 2015 г. имеет магнитуду $ML5.1$, и хотя его эпицентральное расстояние соответствует требуемому условию (п.3), оно рассматривается как ”пропуск цели”, так как в соответствии с упомянутым п.7 после произошедшего землетрясения с $ML5.4$ ожидаются только более сильные события.

Отсутствие в колонке ”Примечания” (в таблице) даты прогноза означает, что предвестник был обнаружен уже после землетрясения при ретроспективном анализе. Задержка обработки, как правило, связана с техническими проблемами.

Самое сильное за рассматриваемый временной интервал землетрясение – Жупановское землетрясение 30 января 2016 г. $ML7.1$ не имело предвестника по этой методике, хотя вариации соотношения амплитуд приливных гармоник уровня ВСШ на дробных периодах были отмечены [7].

Статистически обоснованный анализ эффективности прогнозов за короткий (3 года) временной интервал не представляется возможным, однако, приведенные данные демонстрируют перспективность используемого подхода для прогноза сильных локальных землетрясений и не противоречат приведенным в [4] характеристикам методики.

Работа частично выполнена при финансовой поддержке Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 17-05-00185).

Список литературы

1. Пат. 2105332 Российская Федерация. Способ контроля напряженного состояния земной коры для прогноза сильных землетрясений / Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н. № 94042027/25 Заявл. 23.11.94. Оpubл. 20.02.98. Бюл. № 5.
2. Рыкунов Л.Н., Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н. Характерные параметры высокочастотного сейсмического шума перед сильными камчатскими землетрясениями 1996 г. // ДАН. 1998. Т. 361. № 3. С. 402–404.
3. Салтыков В.А. Особенности связи высокочастотного сейсмического шума и лунно-солнечных приливов // Докл. РАН. 1995. Т. 341. № 3. С. 406–407.
4. Салтыков В. А. О возможности использования приливной модуляции сейсмических шумов в целях прогноза землетрясений // Физика Земли. 2017. № 2. С. 84–96.
5. Салтыков В. А., Кугаенко Ю.А. Особенности пространственной связи приливной компоненты сейсмических шумов с областями подготовки сильных землетрясений (по материалам долговременных режимных наблюдений на Камчатке) // Физика Земли. 2007. № 9. С. 48–60.
6. Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н. Предвестники сильных землетрясений на Камчатке по данным мониторинга сейсмических шумов // Вулканология и сейсмология. 2008. № 2. С. 110–124.
7. Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А. и др. Жупановское землетрясение 30.01.2016 г. с $KS=15.7$, $MW=7.2$, $I=6$ (Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2016. № 1. Вып. 29. С. 5–16.