

Вариации параметров фонового сейсмического шума на стадиях подготовки сильных землетрясений Камчатки

В.А. Касимова¹, Г.Н. Копылова¹, А.А. Любушин²

¹*Камчатский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», г. Петропавловск-Камчатский, e-mail: vika@emsd.ru*

²*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва*

Представлены карты, временные графики и частотно-временные диаграммы пространственно-временного распределения четырех статистик фонового сейсмического шума и спектральной меры их когерентного поведения, построенные с использованием оценок параметров мультифрактальных спектров сингулярности и вейвлет-разложений 1-минутных временных рядов записей на сети широкополосных сейсмических станций Камчатки. Интерпретация полученных карт, графиков и частотно-временных диаграмм проводится в сопоставлении с произошедшими на Камчатке землетрясениями с $M \geq 6,8$ за период наблюдений 2011–2016 гг.

Введение

В работе представлены результаты исследования вариаций фонового сейсмического шума на Камчатке в 2011–2016 гг. с использованием метода, предложенного д. ф.-м. н. А.А. Любушиным, и данных от сети широкополосных сейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН (рис. 1). В [3-5] на примере сильнейших японских землетрясений с $M \geq 8$ убедительно показана возможность применения этого метода для выдачи среднесрочных сейсмических прогнозов времени и места возникновения таких событий с заблаговременностью месяцы – первые годы. В указанных выше работах также показано, что реализация метода в режиме близком к реальному времени может представлять эффективный инструмент динамической оценки повышенной опасности возникновения сильных землетрясений.

Метод включает анализ вариаций 1-минутных временных рядов шума в диапазоне периодов от 2 до сотен минут (фоновый сейсмический шум) с использованием оценок параметров мультифрактальных спектров сингулярности и вейвлет-разложений: обобщенного показателя Херста α^* , ширины носителя спектра сингулярности $\Delta\alpha$, вейвлетной спектральной экспоненты β , минимальной нормализованной энтропии вейвлет-коэффициентов шума En , а также спектральной меры их когерентного поведения $\nu(\tau, \omega)$ [2-5].

За время наблюдений на Камчатке имели место эпизоды усиления сейсмической активности, в т. ч. произошли землетрясения 28 февраля 2013 г. с $M=6,8$, мантийное Охотоморское землетрясение 24 мая 2013 г. с $M=8,3$ и землетрясение 30.01.2016 г. с $M=7,2$ (Жупановское). В работе основное внимание уделялось исследованию пространственно-временного распределения и когерентного поведения параметров фонового сейсмического шума в периоды этих сейсмических событий.

Методика исследований

В работе использовались записи вертикальных компонент движений грунта на канале ВNZ с частотой оцифровки 100 Гц (на станции РЕТ частота оцифровки равна 20 Гц) с 01 января 2011 по 31 декабря 2016 гг., полученные на сети из 21 станций [1, 6].

Программное обеспечение исследований предоставлено д. ф.-м. н. А.А. Любушиным, ИФЗ РАН, г. Москва. Описание алгоритмов вычисления α^* , $\Delta\alpha$, β и En имеется в работах [3-5].

С использованием предоставленных программ для каждой станции рассчитывались ежесуточные значения параметров α^* , $\Delta\alpha$, En , β . Из полученных

временных рядов удалялись низкочастотные тренды и создавались ежесуточные grid-файлы пространственного распределения статистик за весь период наблюдений.

Оценка изменчивости поля фонового сейсмического шума производилась с помощью набора карт пространственно-временного распределения статистик шума (рис. 1) и графиков изменения во времени их медианных значений (рис. 2а), оцениваемых по всем станциям в заданных временных окнах различной длины.

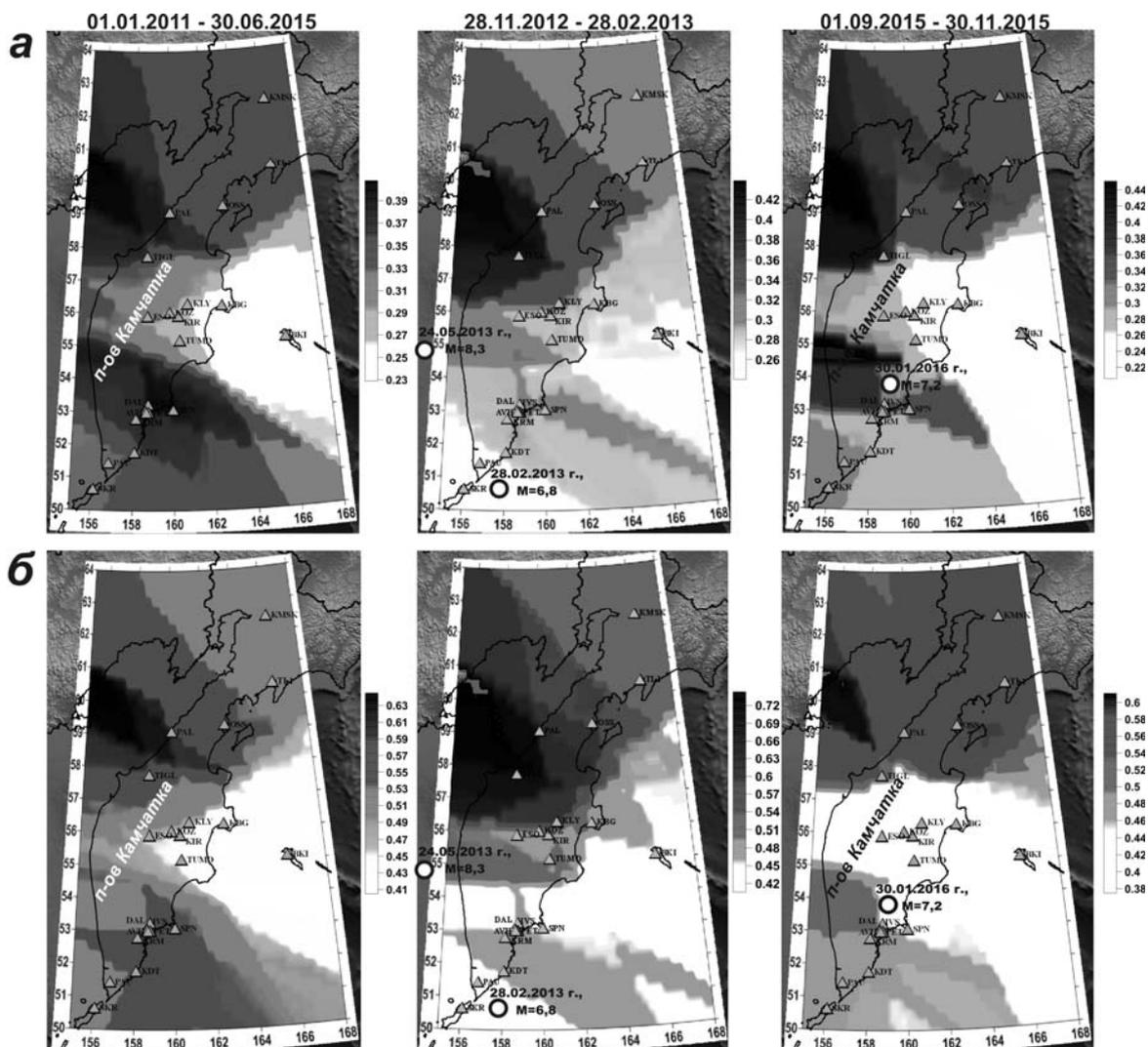


Рис. 1. Карты распределения мульти-фрактальных параметров поля фонового сейсмического шума α^* (а), $\Delta\alpha$ (б) за период наблюдений (слева - направо): с 01.01.2011 по 30.06.2015 гг., с 28.11.2012 по 28.02.2013 гг. (за 3 месяца до землетрясения 28.02.2013, $M=6,8$, и 6 месяцев до Охотоморского землетрясения 24.05.2013 г., $M=8,3$), с 01.09.2015 по 30.11.2015 гг. (за 5 месяцев до Жупановским землетрясением 30.01.2016 г., $M = 7,2$).

Для анализа изменений статистик сейсмического шума перед сильными ($M \geq 6,8$) местными землетрясениями были построены усредненные карты их распределений за периоды времени 6 и 3 месяцев (рис. 1). Анализ совокупности таких карт для одного и того же интервала времени и их изменчивости во времени позволяет проследить главные особенности поля фонового сейсмического шума для территории Камчатки.

Построение графиков медианных значений статистик, вычисляемых по всем станциям сети, позволяет проследить динамику их изменения во времени. На рис. 2а приводится сопоставление вариаций медианных значений параметров шума с

произшедшими сейсмическими событиями. Для изучения особенностей совокупного поведения рассматриваемых временных рядов α^* , $\Delta\alpha$, β и En строились частотно-временные диаграммы спектральной меры их когерентности. Оценки спектральной матрицы 4-хмерного ряда проводились с использованием авторегрессионной модели 5-го порядка (AR=5) [2]. Оценки производились в скользящем временном окне длиной 365 суток с шагом 3 суток. По такой диаграмме (рис. 2 б) выделялись интервалы времени и частотные полосы проявления максимальных значений $\nu(\tau, \omega)$, показывающие увеличение когерентности в изменениях всех статистик шума.

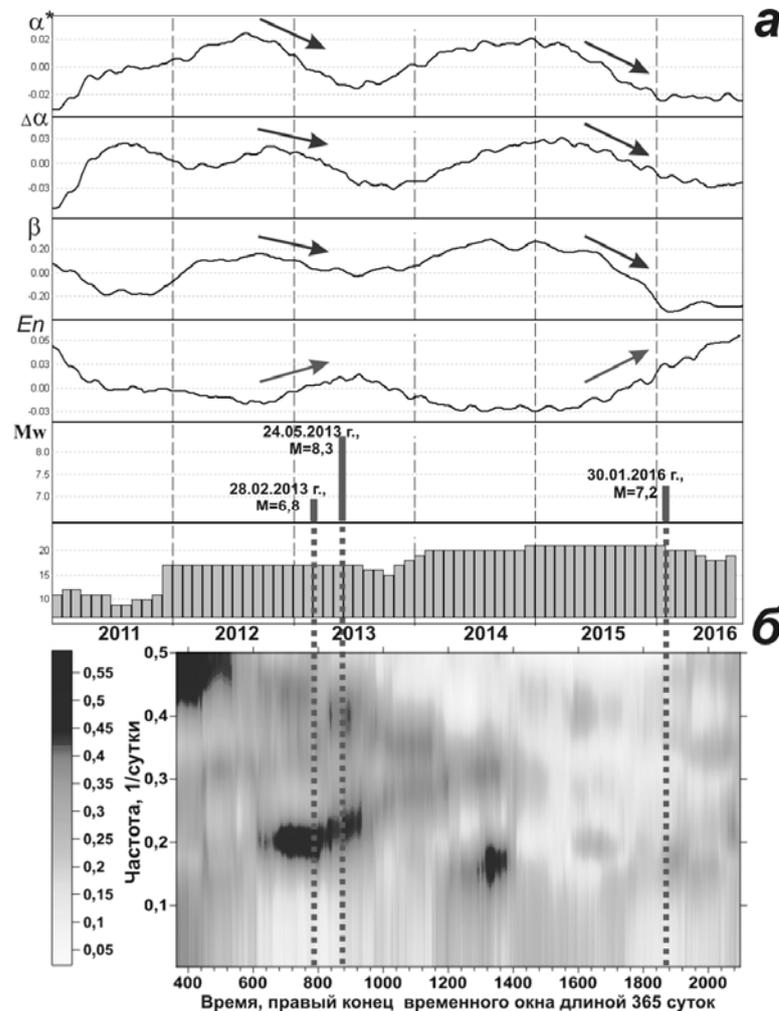


Рис. 2. Анализ когерентного поведения статистик фонового сейсмического шума в сопоставлении с произошедшими землетрясениями с $M \geq 6,8$ (вертикальные пунктирные линии): *a* - изменение медианных значений α^* , $\Delta\alpha$, β , En , сглаженных в скользящем временном окне 90 суток с шагом 1 сутки; *б* - частотно-временная диаграмма эволюции спектральной меры когерентности 4-хмерного временного ряда медианных значений параметров сейсмического шума α^* , $\Delta\alpha$, β , En . Период наблюдений с 1 января 2011 по 31 декабря 2016 гг.

Результаты

Перед землетрясением 28 февраля 2013 г., $M=6,8$ в области его будущего очага фиксировалась область пониженных значений α^* , $\Delta\alpha$, β и повышенных значений En в течение не менее трех месяцев (рис. 1, средний столбец). Перед Охотоморским землетрясением 24 мая 2013 г., $M_w=8,3$ в районе его возникновения области пониженных и повышенных значений статистик выражены слабее. Это может быть связано с тем, что очаг землетрясения находился на глубине около 600 км, т. е.

землетрясение было мантийным, а также с понижением плотности сети сейсмических станций в районах Западной Камчатки.

Как следует из графиков на рис. 2а, в поведении временных рядов рассматриваемых параметров прослеживаются их синхронные изменения перед местными землетрясениями с $M \geq 6,8$: понижение значений параметров α^* , $\Delta\alpha$, β и повышение значений параметра En . При этом экстремальные значения статистик шума примерно соответствуют времени возникновения Охотоморского землетрясения 24.05.2013 г. и Жупановского землетрясения 30.01.2016 г.

На диаграмме (рис. 2 б) выделяется всплеск максимальных значений $\nu(\tau, \omega)$ в интервале времени с $\sim 11.09.2012$ по $18.07.2013$ гг. (620–930 сут от 01.01.2011 г.) в диапазоне периодов 4–5 сут. Такой всплеск указывает на увеличение синхронизации в изменениях статистик шума примерно за 3 месяца перед землетрясением 28.02.2013 г. и за шесть месяцев перед Охотоморским землетрясением 24.05.2013 г.

Заключение

По результатам изучения пространственно-временной изменчивости параметров фонового сейсмического шума α^* , $\Delta\alpha$, β , En с помощью построенных карт (рис. 1) и графиков изменения медианных значений (рис. 2 а) выявлены характерные вариации в их поведении, предшествующие сейсмической активизации 2013 и 2016 гг.

Характер вариаций параметров α^* , $\Delta\alpha$, β и En перед сильными землетрясениями на Камчатке соответствует вариациям указанных параметров шума в период подготовки сильнейших землетрясений Японии 2003–2011 гг. [3-5].

Сопоставление проявлений эффекта повышенной когерентности в изменении статистик шума с произошедшими землетрясениями показывает, что он соответствует времени подготовки и реализации сейсмической активизации 2013 г. на Камчатке, включающей сильные землетрясения с $M=6,8$ и $M=8,3$.

Работа выполнена в рамках плановых тем НИР КФ ФИЦ ЕГС РАН, рег. №№ АААА-А16-116070550057-7, АААА-А16-116070550059-1 при поддержке грантов РФФИ 15-05-00414 и 16-35-00516 мол_а.

Список литературы

1. Касимова В.А. Пространственно-временные вариации фонового сейсмического шума на Камчатке в 2011–2015 гг. // Материалы четвертой молодежной тектонофизической школы-семинара. Современная тектонофизика. Методы и результаты. Москва: ИФЗ, 2015. Т 1. С. 144–153.
2. Любушин А.А. Анализ когерентности глобального сейсмического шума, 1997–2012 // Физика Земли. 2014. № 3. С. 18–27.
3. Любушин А.А. Карты свойств низкочастотных микросейсм для оценки сейсмической опасности // Физика Земли. 2013. № 1. С. 11–20.
4. Любушин А.А. Прогноз Великого Японского землетрясения // Природа. 2012. № 8. С. 23–33.
5. Любушин А.А. Статистики временных фрагментов низкочастотных микросейсм: их тренды и синхронизация // Физика Земли. 2010. № 6. С. 86–96.
6. Любушин А.А., Копылова Г.Н., Касимова В.А., Таранова Л.Н. О свойствах поля низкочастотных шумов, зарегистрированных на Камчатской сети широкополосных сейсмических станций // Вестник КРАУНЦ. Серия науки о Земле, 2015. № 2. Вып. № 26. С. 20-36.