

УДК 550.34

МОДУЛЯЦИЯ СВОЙСТВ ФОНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЗЕМНОЙ КОРЕ НЕРАВНОМЕРНОСТЬЮ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ

Любушин А.А.

Институт физики Земли РАН, г. Москва, lyubushin@yandex.ru

Введение

Непрерывные записи низкочастотного сейсмического шума доступны с начала 1997 года на станциях глобальной широкополосной сети и на станциях ряда региональных сетей в Японии, Калифорнии, Камчатке. Их анализ позволил проверить ряд гипотез о том, как подготовка сильных землетрясений влияет на статистические свойства шума, а также о возможностях использования изменений свойств шума для поиска предвестников сильных сейсмических событий и оценки тренда сейсмической опасности [1, 2, 4 – 9]. Временная эволюция средних значений свойств сейсмического шума от всей сети и от ее различных частей, когда они оцениваются в скользящем временном окне, демонстрирует ряд особенностей, объяснение которых требует привлечения информации о планетарных причинах, которые может служить источником модуляции. В статье предлагается рассмотреть нерегулярность вращения Земли, данные которой доступны с 1962 года - временной ряд продолжительности дня (LOD). Представлены оценки квадратичной когерентности между приращениями LOD и среднесуточными значениями свойств сейсмического шума на различных сетях наблюдения в годовом скользящем временном окне. Максимумы такой когерентности сконцентрированы в узкой полосе частот с периодами от 11 до 14 дней, при этом в 2003 г. наблюдался всплеск максимальной когерентности, который был ранее обнаружен для глобального сейсмического шума [10]. Эти свойства связи сейсмического шума с LOD сохраняются для региональной сейсмической сети F-net в Японии, но, похоже, ряд особенностей связан с подготовкой сейсмической катастрофы в Тохоку 11 марта 2011 года ($M = 9.1$). В частности, после предыдущего сильного землетрясения у побережья Хоккайдо 25 сентября 2003 г. ($M = 8.3$) изменения в спектре когерентности показали периодичность с периодом около 2 лет, который после события Тохоку изменился на монотонную растущую тенденцию.

Данные

Использовались данные 2-х широкополосных сейсмических сетей. Первый набор данных брался от сети F-net на Японских островах (78 станций), которые могут быть загружены с адреса: <http://www.fnet.bosai.go.jp/faq/?LANG=en>. Второй набор данных брался от объединения трех региональных сетей в Калифорнии, данные которых представлены по адресам: <http://ds.iris.edu/mda/AZ>, <http://ds.iris.edu/mda/BK>, <http://ds.iris.edu/mda/CI> и обеспечивается работой 142 станций. На рис. 1 представлены расположения станций этих двух сетей.

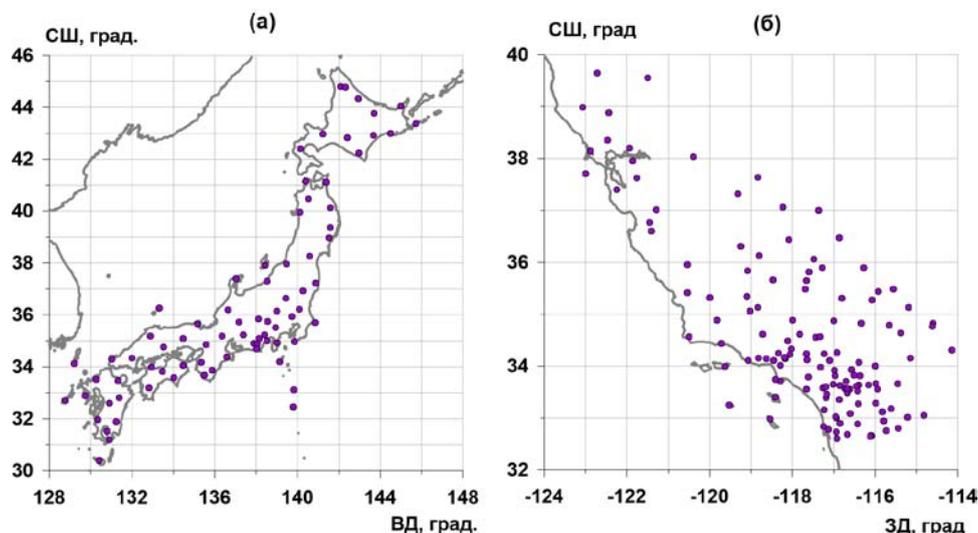


Рис. 1. Расположения широкополосных сейсмических станций в Японии (а) и в Калифорнии (б).

Скачивались данные вертикальных компонент с частотой дискретизации 1 Гц, которые потом приводились к шагу по времени 1 минута путем вычисления средних значений в последовательных временных интервалах длиной 60 значений.

Результаты анализа

Для каждой сети строились ежесуточные временные ряды медиан 8 параметров сейсмического шума: ширины носителя мульти-фрактального спектра сингулярности $\Delta\alpha$, обобщенного показателя Херста α^* (также мульти-фрактальный параметр), минимальной нормализованной энтропии распределения квадратов вейвлет-коэффициентов En , индекс Донохо-Джонстона γ , определяющий долю информативных вейвлет-коэффициентов, спектральная экспонента β , определяемая как наклон линейной аппроксимации зависимости логарифма вейвлет-спектра от логарифма периодов, авторегрессионный индекс линейной предсказуемости C_{Pred} , целочисленный индекс гладкости волновых форм шума SI , определяемый как число обнуляемых моментов у оптимального ортогонального вейвлета и логарифм коэффициента эксцесса $Ig(\kappa)$.

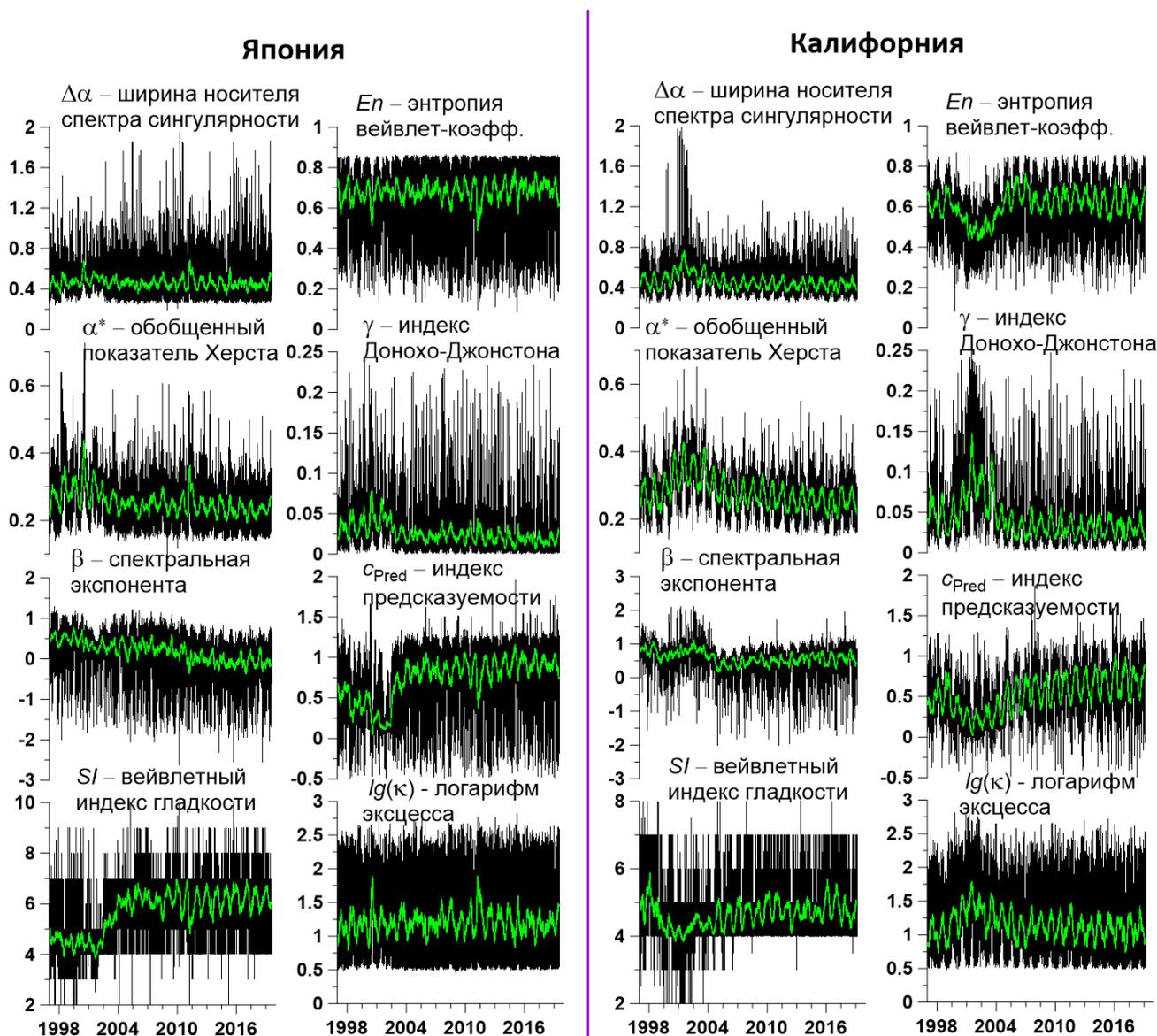


Рис. 2. Графики ежесуточных медианных значений 8 параметров сейсмического шума для станций сетей в Японии (слева) и Калифорнии (справа). Зелеными линиями представлены графики скользящих средних в окне длиной 57 суток.

Для каждого параметра медианы вычислялись ежесуточно по всем работоспособным станциям сетей – таким образом, получались временные ряды интегральных характеристик шума с шагом по времени 1 сутки. Использование медианных значений параметров шума позволяет избавиться от влияния разрывов в регистрации на станциях и получать непрерывные временные ряды как интегральные характеристики всей сети. Описанные параметры ранее активно использовались для анализа непрерывных записей сейсмического шума и других временных рядов геофизического мониторинга в работах [1-9] где дано их подробное описание.

На рис.2 представлены графики ежесуточных медианных значений параметров сейсмического шума отдельно для сетей в Японии и в Калифорнии. Видно, что интервал времени 2002 – 2004 гг. характеризуется аномальным поведением почти всех параметров шума синхронно для обеих сетей. Можно сделать предположение, что это аномальное поведение является следствием какого-то глобального воздействия. Далее в качестве гипотетического воздействия рассмотрим изменения во вращении Земли. Они представлены временным рядом длины дня, который доступен по адресу <https://hpiers.obspm.fr/iers/eop/eopc04/eopc04.62-now>

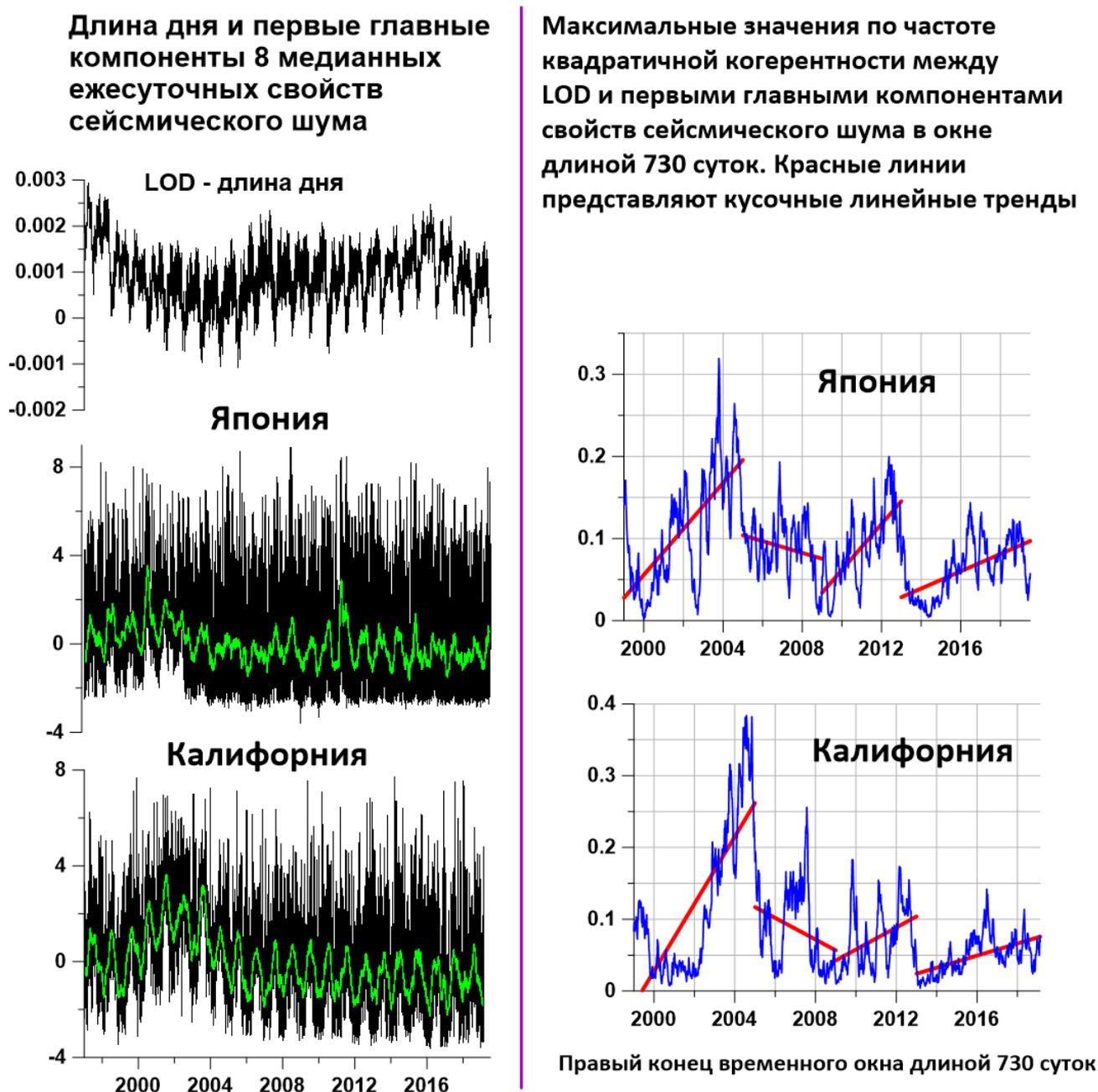


Рис. 3. Слева – графики временных рядов длины суток (LOD) и первых главных компонент 8 свойств сейсмического шума в Японии и Калифорнии. Зелеными линиями представлены графики скользящих средних в окне длиной 57 суток. Справа – графики максимальных значений по частотам квадратичной когерентности

между LOD и первыми главными компонентами сейсмического шума при оценке в скользящем временном окне длиной 730 суток.

Для выделения наиболее общих характеристик 8-мерных временных рядов свойств сейсмического шума были вычислены их первые главные компоненты, графики которых представлены слева на рис. 3. Справа на рис. 3 представлены графики максимальных по частотам значений квадратичной когерентности между временными рядами длины суток LOD и первыми главными компонентами ежесуточных медианных значений параметров сейсмического шума в Японии и Калифорнии, вычисленных в скользящем временном окне длиной 730 суток (2 года).

Видно, что формы вариаций максимальной когерентности с временным рядом LOD для Японии и Калифорнии весьма подобны друг другу. Это подобие особенно подчеркивается, если построить кусочно-линейные аппроксимации для последовательности 4-х временных интервалов, которые на рис.3 представлены красными линиями. При этом следует отметить, что аномальный интервал времени 2002 – 2004 г., который на рис. 2 виден по амплитудам вариаций свойств сейсмического шума, на рис.3 отмечен максимальными значениями когерентности.

Заключение

Анализ синхронным наблюдений за сейсмическим шумом на сетях широкополосных сейсмических станций в Японии и Калифорнии и когерентности средних свойств шума с временным рядом нерегулярности вращения Земли позволяет выдвинуть гипотезу, что неравномерность вращения планеты является одним из ведущих факторов, управляющих изменением свойств собственного шума Земли.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-05-00133).

Список литературы

1. Любушин А.А. Сейсмическая катастрофа в Японии 11 марта 2011 года. Долгосрочный прогноз по низкочастотным микросейсам // Геофизические процессы и биосфера. 2011. Т. 10. № 1. С. 9–35. http://old.ifz.ru/journals/gpb/publications/2011-1/02_2011_N1_rus.pdf.
2. Любушин А.А. Анализ когерентности глобального сейсмического шума, 1997-2012 // Физика Земли. 2014. №3. С. 18–27. <https://doi.org/10.1134/S1069351314030069>.
3. Любушин А.А., Казанцева О.С., Манукин А.Б. Анализ длительных наблюдений за уровнем подземных вод в асейсмическом регионе // Физика Земли. 2019. №2. С. 47–67. <https://doi.org/10.31857/S0002-33372019247-67>.
4. Lyubushin, A. Prognostic properties of low-frequency seismic noise // Natural Science. 2012. V. 4 P. 659–666. <http://dx.doi.org/10.4236/ns.2012.428087>.
5. Lyubushin, A. How soon would the next mega-earthquake occur in Japan? // Natural Science. 2013. V. 5. P. 1–7. <http://dx.doi.org/10.4236/ns.2013.58A1001>.
6. Lyubushin A.A. Dynamic estimate of seismic danger based on multifractal properties of low-frequency seismic noise // Natural Hazards. 2014. V. 70. P. 471–483, <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0823-7>.
7. Lyubushin A.A. Wavelet-based coherence measures of global seismic noise properties // Journal of Seismology. 2015. V. 19. P. 329–340. <https://doi.org/10.1007/s10950-014-9468-6>.
8. Lyubushin A.A. Long-range coherence between seismic noise properties in Japan and California before and after Tohoku mega-earthquake // Acta Geodaetica et Geophysica. 2017. V. 52. P. 467–478. <http://dx.doi.org/10.1007/s40328-016-0181-5>.
9. Lyubushin A. Synchronization of Geophysical Fields Fluctuations // Complexity of Seismic Time Series: Measurement and Applications, Elsevier 2018, Amsterdam, Oxford, Cambridge. Chapter 6. P. 161–197. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813138-1.00006-7>.
10. Lyubushin A. Global Seismic Noise Synchronization and Seismic Danger Increasing in Connection to Irregularity of Earth's Rotation - 36th General Assembly of the European Seismological Commission, 2-7 September 2018, Valletta - Malta. The book of abstracts of the ESC2018 General Assembly, ISBN: 978-88-98161-12-6, abstract ESC2018-S16-54, <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28107.64800>.