

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФОНОВОГО ПОЛЯ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННОГО ЛАЗЕРНЫМИ ДЕФОРМОГРАФАМИ

**Иванов М.П.¹, Долгих С.Г.¹, Пелиновский Е.Н.²,
Талипова Т.Г.²**

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток

²Институт прикладной физики им. акад. Гапонова – Грехова А.В., г. Нижний
Новгород

ivanov.mp@poi.dvo.ru

Фоновое микросейсмическое поле Земли в диапазоне периодов 2–20 с формируется преимущественно под действием морских волн и атмосферных процессов [1–4]. Его характеристики позволяют судить о взаимодействии геосфер в системе «атмосфера-гидросфера-литосфера» [5].

Измерения проводились на берегу Японского моря с использованием двух лазерных деформографов, ориентированных по направлениям Север-Юг и Запад-Восток и имеющих длины измерительных плеч 52,5 и 17,5 м соответственно [6]. Для анализа выбраны 16 фрагментов фоновой записи по одному часу, зафиксированных в спокойные погодные условия. Обработка данных включала спектральный и вероятностно-статистический анализ.

Записи с деформографов подвергались полосовой фильтрации (0,05–0,5 Гц) с последующим восстановлением сигнала и нормировкой к длине 1 м [7]. Статистическая обработка включала вычисление среднего значения, стандартного отклонения, коэффициента асимметрии и эксцесса по стандартным формулам [8]. Форма распределения оценивалась по сравнению с нормальным законом и рядом Грамма–Шарлье [9]. На рисунке 1 показан пример сигнала после фильтрации.

Для оценки моделей распределения использовался процент объяснённой дисперсии. Аппроксимация рядом Грамма–Шарлье в большинстве случаев демонстрировала более высокую точность (до 99,5%). Плотности вероятности нормированных значений сигнала, зарегистрированного с двух деформографов, представлены на рисунке 2. Данный график позволяет визуально оценить откло-

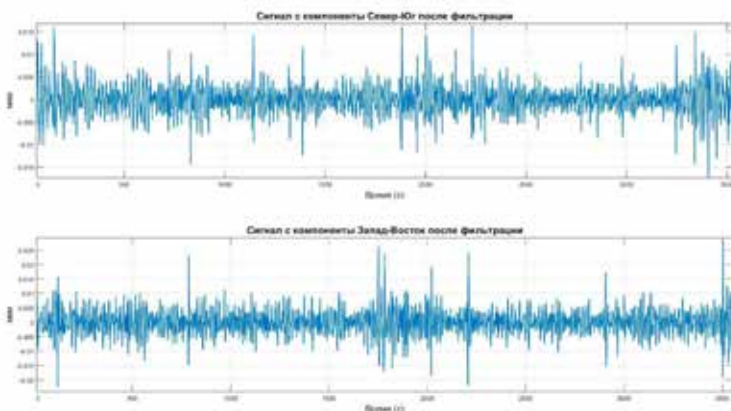


Рис. 1. Сигнал после фильтрации полосовым фильтром для двух компонент деформографов

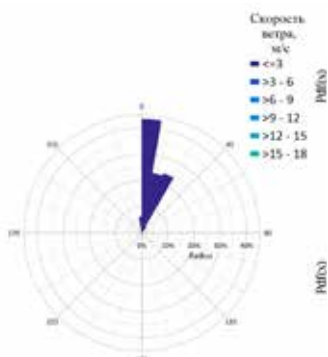
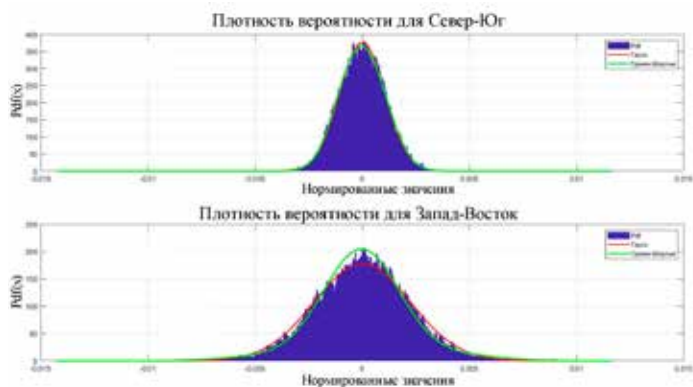


Рис. 2. Плотность вероятности нормированных значений сигнала, зарегистрированного с двух деформографов, ориентированных в направлениях Север-Юг и Запад-Восток зарегистрированного 12.07.2019 в период времени с 20:09:23 по 21:09:23



нения от нормального распределения и точность аппроксимации рядом Грамма–Шарлье.

Анализ показал, что для компоненты Север–Юг положительная асимметрия наблюдалась в 9 из 16 фрагментов, эксцесс — преимущественно положительный (15 из 16). Для компоненты Запад–Восток положительная асимметрия — в 8 случаях, эксцесс положителен во всех случаях. Также отметим наличие корреляции между σ по двум компонентам (коэффициент детерминации $R^2 = 0,9$), что может свидетельствовать о единой природе фоновых воздействий (ветровая нагрузка, морская зыбь) [10]. Отклонения распределений от нормальных, особенно положительные эксцессы, указывают на наличие редких, но мощных колебаний — потенциально связанных с экстремальными морскими событиями [11].

Проведённый статистический анализ фонового микросейсмического сигнала в диапазоне 0,05–0,5 Гц показал, что он в среднем близок к нормальному распределению, но зачастую имеет небольшую положительную асимметрию и эксцесс. Наилучшее приближение распределений достигается с использованием ряда Грамма–Шарлье. Эти результаты важны для построения моделей фильтрации шума и выявления отклонений, связанных с геофизическими процессами.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта № 075-15-2024-642 «Исследование процессов и закономерностей возникновения, развития и трансформации катастрофических явлений в океанах и на континентах методами сейсмоакустического мониторинга».

Литература

1. Долгих Г.И., Долгих С.Г., Чебров В.Н., Шевченко Ю.В. Геофизический полигон «Мыс Шульца» // Вестник ДВО РАН. 2010. № 5. С. 165–169.
2. Beucler E., Mocquet A., Schimmel M., Chevrot S., Quillard O., Vergne J., Sylvander M. Observation of deep water microseisms in the North Atlantic Ocean using tide modulations // Geophysical Research Letters. 2015. 42. P. 316–322.
3. Arduin F., Stutzmann E., Schimmel M., Mangeney A. Ocean wave sources of seismic noise // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2011. 116. C09004.
4. Tanimoto T., Anderson A. Seismic noise between 0.003 Hz and 1.0 Hz and its classification // Progress in Earth and Planetary Science. 2023. 10, 56.
5. Dolgikh G.I., Dolgikh S.G., Chupin V.A., Davydov A.V., Mishakov A.V. Remote seismoacoustic monitoring of tropical cyclones in the sea of Japan // Remote Sensing. 2023. T. 15. № 6. С. 1707.

6. Долгих Г.И., Валентин Д.И., Долгих С.Г., Ковалёв С.Н., Корень И.А., Овчаренко В.В., Фищенко В.К. Применение лазерных деформографов вертикальной и горизонтальной ориентаций в геофизических исследованиях переходных зон // Физика Земли. 2002. № 8. С. 69-73.
7. Долгих С.Г., Будрин С.С., Плотников А.А. Лазерный измеритель вариаций давления гидросферы с механической системой компенсации температурного воздействия // Океанология. 2017. Т. 57. № 4. С. 663-666.
8. Montgomery Douglas C., Runger George C. Applied Statistics and Probability for Engineers // 5th Edition. Wiley. 2010. 784 p.
9. Сайфуллин Р.Т., Бочкарев А.В. Вычисление коэффициентов асимметрии и эксцесса хроматографических пиков с применением функций Чебышева-Эрмита и рядов Грама-Шарлье // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2020. Т. 28. № 4. С. 89-105.
10. Anthony R.E., Aster R.C., McGrath D. Links between atmosphere, ocean, and cryosphere from two decades of microseism observations on the Antarctic Peninsula // Journal of Geophysical Research: Earth Surface. 2017. Т. 122. № 1. С. 153-166.
11. Слюняев А.В., Пелиновский Д.Е., Пелиновский Е.Н. Морские волны-убийцы: наблюдения, физика и математика // Успехи физических наук. 2023. Т. 193. № 2. С. 155-181.