

УДК 550.342

ОСТРОВСКИЙ А. А., СОКОЛОВ С. Ю., РЫКУНОВ Л. Н.

НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ВАРИАЦИИ ДОННОГО
СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА

LOW-FREQUENCY VARIATIONS OF OCEAN-BOTTOM SEISMIC NOISE, by Ostrovskii A. A., Sokolov S. Yu., and Rykunov L. N. This paper shows the results of the first attempt to distinguish periodic variations in the regional component of the ocean—bottom seismic noise variation within the period of 8—10 hours, observed at all harmonics. Variations within the 2-hour period are less pronounced. It is suggested that these variations are of a tidal or hydrophysical nature.

(Received, July 16, 1987)

Institute of Geology, USSR Academy of Sciences, Moscow, USSR Moscow State University, Physical Department, Moscow, USSR

Многочисленные исследования сейсмических шумов, проведенные в последние десятилетия, обычно имели цель обнаружить способы повышения соотношения сигнал/шум при сейсмических и сейсмологических наблюдениях. Во время этих исследований анализировалось влияние различных природных и антропогенных факторов на уровень шума, а также проводился поиск районов с минимальными уровнями сейсмического фона. В результате такого поиска было установлено, что на континентах, там, где в значительной степени удается отстроиться от большинства известных источников шума, выявленных эмпирически (штормовые микросейсм, дождь, ветер, шумы промышленности, транспорт, флуктуации атмосферного давления и т. д.), даже при специальных способах регистрации наблюдается некоторый слабый сейсмический фон [6, 14, 15]. Его удобно называть региональным шумом. Обращало на себя внимание то, что региональный шум на континентах имел примерно такой же уровень, как и наблюдаемые минимальные значения сейсмического шума на дне океанов [6]. Это свидетельствовало в пользу того, что происхождение регионального фона связано в основном с твердой оболочкой Земли. Кроме того, сравнительно высокие частоты (10—100 Гц и выше), наблюдаемые в спектрах регионального шума, указывали, что он, по-видимому, не должен приходить с очень больших расстояний.

Одной из гипотез, предложенных для объяснения происхождения регионального фона, была идея о генерации его гравитационными волнами, приходящими из космоса [13]. Она была в значительной мере опровергнута экспериментальными данными [16].

В 1978 г. были опубликованы данные, указывающие, что высокочастотный региональный сейсмический шум может возникать в результате развития дефектов структуры земной коры (в частности, трещин) при воздействии на них длиннопериодных сейсмических процессов — например, собственных колебаний Земли, приливных волн, низкочастотных штормовых микросейсм и т. д. [8]. Этот эффект в сейсмологии получил название сейсмоакустической эмиссии.

В работах [9, 10] приводились результаты экспериментов по изменению уровня регионального фона на частоте 30 Гц. Были обнаружены

периодические изменения среднего уровня 30-герцевой составляющей. Эти изменения имели различные периоды и могли быть увязаны с упомянутыми выше низкочастотными процессами, что служило подтверждением гипотезы об эмиссионном происхождении высокочастотного сейсмического фона на континентах.

Теоретические оценки показали, что энергии низкочастотной волны, модулирующей шум, недостаточно для его генерации. Это породило представление о возможности активного отклика среды на низкочастотные иницирующие воздействия [7].

Существенной помехой при выделении низкочастотных вариаций сейсмического шума на континентах служат интенсивные антропогенные источники, обычно дающие суточную и недельную составляющие этих вариаций. В связи с этим появляются определенные преимущества при выделении низкочастотных вариаций донных сейсмических шумов. Попытка выделить сезонные вариации донного шума описана в [3]. По нашему мнению, разумно было бы попытаться выделить и сравнительно более высокочастотные вариации донного шума с периодами порядка единиц часов. Настоящее сообщение посвящено результатам первой попытки выделения таких периодических составляющих донного сейсмического шума.

Как известно, уровень записанного на дне сейсмического фона может заметно меняться. Изменения в режиме придонных течений, усиление штормового волнения, проход судов могут вызывать неперіодические увеличения среднего уровня донного шума [5, 12]. При этом сейсмические волны, генерируемые в дне перечисленными выше факторами, часто имеют характерно различающиеся параметры (частоты, интенсивность, поляризацию), что иногда позволяет выделить доминирующий в тот или иной момент времени излучающий механизм [5, 12]. Упомянутые выше неперіодические вариации шума происходят на фоне более стационарной составляющей донных колебаний, представляющей собой, по-видимому, смесь приходящих издалека шумовых сигналов регионального фона, а также аппаратных шумов донного сейсмографа. При благоприятных условиях региональная составляющая может оказаться доминирующей (в смысле возможности ее выделения) частью донного шума. Конечно, нам точно неизвестно, насколько благоприятны условия работы донного сейсмографа (ДС) в каждом конкретном случае. Однако близкое расположение минимальных значений спектров донных и континентальных шумов дает нам право предположить, что в некоторых случаях такая ситуация возможна.

Целью проведенного исследования было выделение низкочастотных периодических вариаций региональной составляющей донного фона. Мы сосредоточили свое внимание на вариациях, имеющих периода порядка 1—10 ч. На меньших периодах (минуты) изменения огибающей сейсмического шума могут быть обусловлены наводками, связанными с вибрациями системы лентопротяжного механизма ДС, некоторые механические детали которого имеют периоды обращения, достигающие первых десятков минут. Большие периоды не позволяют анализировать короткая длительность реализаций записей донного шума.

Для обработки была выбрана запись, характеризуемая низким абсолютным уровнем шума. Постановка ДС была осуществлена в точке с координатами $41^{\circ}28'$ с. ш. и $153^{\circ}13'$ в. д. на глубине 5400 м [2].

На записи был выбран участок шума, длительностью 48 ч, свободный от прострелки ГСЗ, землетрясений и других сигналов, превышающих средний уровень. В пределах выбранного участка с шагом в 1 мин было вычислено 2880 спектральных оценок донного шума. Длительность реализации, по которой рассчитывалась каждая оценка, составляла 4 с и была выбрана такой, чтобы ее увеличение уже не меняло бы существенно получаемую спектральную оценку.

Частота квантования четырех секундных выборок была равна 64 Гц. Таким образом, этого было достаточно для удовлетворительной оцифровки любой из гармоник рабочего частотного диапазона ДС (3—25 Гц). Для некоторых из этих гармоник (3, 4, 5, ... 25 Гц) было получено 2880 значений спектральной плотности, следующих с шагом в 1 мин в пределах выбранного ранее участка шума. Эти значения мы рассматривали как дискретизацию медленного процесса изменения уровня шума, соответствующего той или иной гармонике. По полученным таким образом вторичным временным рядам для каждой гармоники вновь проводилось спектральное оценивание с предварительным вычитанием постоянной составляющей.

Наличие максимума на спектре, рассчитанном для такого временного ряда, означало бы существование периодических изменений интенсивности шума на частоте выбранной гармоники или, как иногда говорят, длиннопериодных модуляций шума. Описанная процедура обычно называется спектральным анализом второго порядка [1]. Учет постоянной составляющей для каждого вторичного временного ряда означает, что получаемая спектральная плотность длиннопериодных вариаций шума пропорциональна абсолютной глубине модуляции интенсивности шума.

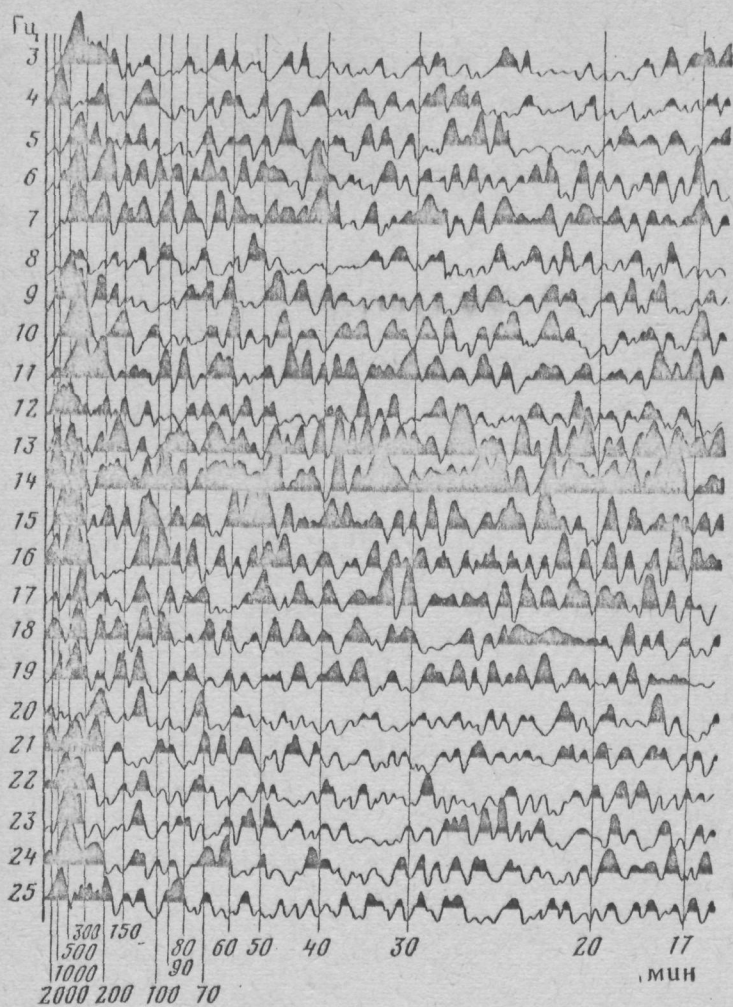
На рисунке приведены спектры вариаций гармоник на частотах 3, 4, ... 25 Гц. Для удобства визуальных оценок на всех спектрах проведены горизонтальные линии, характеризующие одинаковый для спектров опорный «нулевой» уровень. Проведено также зачернение «положительных» значений спектров.

На рисунке видно наличие широкополосного максимума, наблюдаемого для всех гармоник в диапазоне периодов от 8 до 10 ч. Заметен также второй широкополосный максимум с периодом около 2 ч. Значимость максимумов оценивалась по визуальному критерию, приведенному в [1]:

Помимо двух указанных особенностей спектров бросается в глаза общее повышение уровня «пульсаций» спектральных плотностей для гармоник с частотами от 12 до 16 Гц. Характерно, что на этих частотах наблюдается хорошо известный минимум в спектрах донных сейсмических шумов [4], сформированный «микросейсмическим пиком» на низких частотах и, по-видимому, транспортными шумами океана на более высоких частотах. Таким образом, отмеченное выше свойство спектральных плотностей можно объяснить тем, что на более низких и более высоких частотах региональная составляющая шума, имеющая, как видно, специфические спектральные черты, «забывается» приходящими шумами штормовых микросейсм и транспорта.

Как уже отмечалось, значимость максимумов на спектрах устанавливалась по визуальному критерию. В ее пользу свидетельствует также то, что они наблюдаются на спектрах по крайней мере нескольких гармоник. Представляется маловероятным, чтобы эти пульсации были связаны с работой лентопотяжного механизма ДС, иногда генерирующего периодические шумовые наводки на записях приборов, но с периодами, достигающими лишь десятков минут. К сожалению, малая длина записи шума (48 ч) не позволяет уверенно судить о наличии или отсутствии его ожидаемой 12-часовой приливной модуляции, так как получившееся временное окно для функции с таким периодом «размажет» ее энергию по соседним частотам.

Помимо изменений донных условий, обусловленных приливами, механизмом, вызывающим обнаруженные вариации шума, могли бы быть гидрофизические вихревые движения в океане, проявляющиеся в периодических изменениях параметров придонных течений, характерных для района наблюдений.



Спектры вариаций гармоник донного сейсмического шума на частотах 3, 4, 5, ... 25 Гц

В случае установления надежной взаимосвязи между низкочастотными процессами и высокочастотными колебаниями океанского дна создалась бы реальная возможность регистрации нервов путем применения высокочастотных донных сейсмографов.

Более того, вне зависимости от модулирующего воздействия, интенсивность эмиссионного отклика среды может оказаться параметром, связанным с тектоническими условиями в исследуемом районе. Записи региональных донных шумов в этом случае могли бы получить большое прикладное значение, демонстрируя уровень фоновых напряжений в различных геологических структурах океанского дна, определяемый интенсивностью локальных тектонических процессов.

В заключение следует отметить, что полученные результаты не являются безусловными. Их следует рассматривать как оптимистичный стимул для будущих экспериментов. Дальнейшее совершенствование методики морских сейсмологических наблюдений и создание новых конструкций ДС позволят более уверенно судить о существовании взаимосвязи между региональным донным сейсмическим фоном и различными низкочастотными процессами. Чрезвычайно важно было бы создать специально предназначенный для этих целей тип ДС, имеющий мини-

мально возможные собственные шумы, например с заменой магнитной регистрации на цифровую, с записью информации на твердые носители памяти.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бат М. Спектральный анализ в геофизике. М.: Недра, 1980. 535 с.
2. Непрочнов Ю. П. 23-й рейс ПИС «Дмитрий Менделеев»//Океанология. 1980. Т. 20. Вып. 2. С. 360—362.
3. Непрочнов Ю. П., Седов В. В., Островский А. А. Экспериментальное исследование донного сейсмического шума//Океанология. 1983. Т. 23. Вып. 2. С. 276—283.
4. Островский А. А. Обобщенные спектры донного сейсмического шума Мирового океана//Океанология. 1982. Т. 22. Вып. 6. С. 980—983.
5. Островский А. А., Рыкунов Л. Н. Экспериментальное изучение донного сейсмического шума в океане при прохождении циклона//Океанология. 1982. Т. 22. Вып. 6. С. 975—979.
6. Рыкунов А. Л., Смирнов В. Б. Общие особенности сейсмической эмиссии на различных временных масштабах//Изв. АН СССР. Физика Земли. 1985. № 6. С. 83—87.
7. Рыкунов Л. Н. Микросейсм//Сейсмология. Сер. Результаты МГГ. 1967. № 7. 86 с.
8. Рыкунов Л. Н., Хаврошкин О. Б., Цыплаков В. В. Модуляция высокочастотных микросейсм//Докл. АН СССР. 1978. Т. 238. № 2. С. 303—305.
9. Рыкунов Л. Н., Хаврошкин О. Б., Цыплаков В. В. Временные вариации высокочастотных сейсмических шумов//Изв. АН СССР. Физика Земли. 1979. № 11. С. 72—77.
10. Рыкунов Л. Н., Хаврошкин О. Б., Цыплаков В. В. Луно-солнечная приливная периодичность в линиях спектров временных вариаций высокочастотных микросейсм//Докл. АН СССР. 1980. Т. 252. № 3. С. 577—580.
11. Рыкунов Л. Н., Старовойт Ю. О., Хаврошкин О. Б., Цыплаков В. В. Связь штормовых микросейсм с высокочастотными сейсмическими шумами//Изв. АН СССР. Физика Земли. 1982. № 2. С. 88—91.
12. Duenebier F. K., Blackinton G., Sutton G. H. Current-generated noise recorded on ocean bottom seismometers//Marine Geophys. Res. 1981. V. 5. № 1. P. 109—115.
13. Dyson F. J. Seismic response of the Earth to a gravitational wave in the one-hertz band//Astrophys. J. 1969. V. 156. № 2. Part 1. P. 529—540.
14. Fix J. E. Ambient Earth motion in the period range from 0,1 to 2560 sec//Bull. of the Seismol. Soc. of Amer. 1972. V. 62. № 6. P. 1753—1760.
15. Frantli G. E. The nature of high-frequency Earth noise spectra//Geophysics. 1963. V. 28. № 4. P. 547—562.
16. Wiggins R. A. J., Press F. Search for seismic signals at pulsar frequencies//J. Geophys. Res. 1969. V. 74. № 22. P. 5351—5352.

Геологический ин-т АН СССР
МГУ, физический фак-тет

Поступила в редакцию
16.VII.1987

частот-
диа со-
мне-
т.
интен-
етром,
Записи
ольшое
енный в
ый ин-

не яв-
тичный
ование
ых кон-
занмо-
чными
создать
мни-