

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОРРЕЛИРОВАННОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА

А. В. Анищенко, В. Н. Глазнев\*, Д. О. Плаксин, Е. Ю. Дручек

*Государственный научно-исследовательский испытательный институт проблем технической защиты информации Федеральной службы по техническому и экспортному контролю Российской Федерации*

*\*Воронежский государственный университет*

*Поступила в редакцию 25 февраля 2011 г.*

**Аннотация.** В статье рассматривается одна из возможных моделей коррелированного сейсмического шума. Модель основана на экспериментальных данных, в предположении, что спектр мощности сейсмических шумов не является спектром белого шума. Дается описание исходных материалов и математической модели коррелированного сейсмического шума. Показано значение таких процессов для решения задач обнаружения сейсмических сигналов.

**Ключевые слова:** сейсмический шум, коррелированный случайный процесс, обнаружение сигналов.

**Abstract.** The article deal with one of the models for correlated seismic noise processes. This model based on the experimental data in additional supposition that power spectrum of the seismic noise is not spectrum of a white noise. The initial experimental data and mathematical description of the correlated seismic noise model was made. The significance of such processes for solving the task of the detection seismic signals has been shown.

**Key words:** seismic noise, correlated random process, signal detection

### Введение

Одной из основных задач, возникающей при моделировании реальных процессов в системе получения и обработки сейсмических и сейсмологических данных, является оценка возможностей регистрирующей аппаратуры по обнаружению и идентификации источников сейсмических сигналов в различных условиях проведения наблюдений [1–5]. В рамках этой задачи, основным информационным показателем, характеризующим возможности регистрирующей аппаратуры по получению информации об источнике, является вероятность обнаружения сигналов, возбуждаемых некоторым источником сейсмических колебаний естественной или искусственной природы. Этот информационный показатель функционально связан характеристикой канала наблюдений – отношением сигнал/шум (ОСШ) на входе сейсморегирующей аппаратуры. Значение величины ОСШ зависит от ряда факторов и условий [4, 5], основными из которых являются: технические характеристики сейсморегирующей аппаратуры (полоса пропускания, динамический диапазон,

чувствительность, уровень собственных шумов и т.д.); характеристики наблюдаемых источников (тип источника, вид и характер возбуждаемых колебаний, особенности функционирования источника и т.д.); условия регистрации сигналов (уровни и характер сейсмических шумов, геологическая структура среды распространения колебаний и т.д.).

С учетом вышеизложенных условий и факторов, имеющих в общем случае как детерминированный, так и случайный характер, моделирование сейсмического канала наблюдений следует рассматривать с позиции максимального соответствия реальным природным и техническим процессам. Развитые методы математического моделирования [4, 6] позволяет адекватно воспроизвести процесс получения и обработки сейсмических данных при решении задачи оценки возможностей сейсморегирующей аппаратуры, в случае если имеется достаточно общая модель шумов, сопутствующих изучаемому сигналу. Поэтому построение реалистичной модели природного сейсмического шума является важной компонентой анализа и синтеза систем регистрации сейсмических сигналов.

К настоящему времени предложено несколько общих региональных и глобальных моделей сейсмического шума [2, 7, 8], построенных по реальным наблюдениям шумов и описывающих особенности их спектрального состава. Такого рода модели имеют принципиальное значение при решении задач идентификации и выделения искусственных сейсмических сигналов на фоне естественных сейсмологических событий [3, 4]. В целом предложенные модели сейсмического шума, как правило, не соответствуют белому шуму [6], что отмечается многими исследователями [1–3, 7]. Именно это обстоятельство диктует необходимость разработки более адекватных спектральных моделей сейсмических шумов, пригодных для практического использования при анализе систем наблюдений и выявления сейсмических сигналов. В настоящей работе рассматривается статистическая модель коррелированного сейсмического шума, которая может служить одним из составных элементов процесса получения и анализа сейсмических данных.

### 1. Анализ характеристик реального сейсмического шума

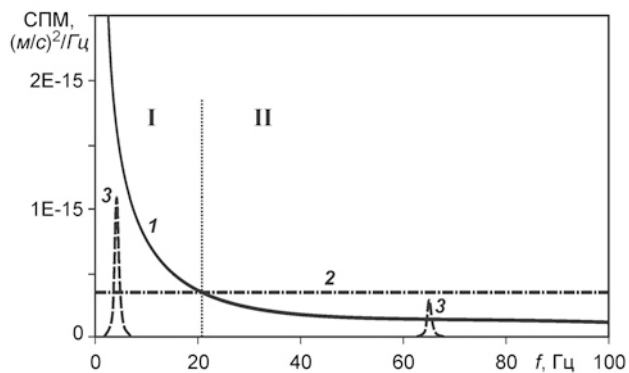
Уровень сейсмического шума является одним из основных параметров, определяющих значение вероятности обнаружения сейсмических сигналов, порождаемых различными источниками колебаний. Наиболее полной характеристикой сейсмического шума является его спектр. Рассматривая шум как некоторый стационарный случайный процесс, протекающий в течение достаточно длительного интервала времени, в качестве его спектральной характеристики принято использовать энергетический спектр или спектральную плотность мощности (СПМ) сейсмического шума [3, 5, 6]. В общем случае спектральная плотность мощности сейсмического шума вычисляется на основе прямого преобразования Фурье автокорреляционной функции (АКФ) амплитудно-временной записи сейсмического шума в заданных частотных диапазонах [3, 5]. Применительно к задачам обнаружения техногенных сейсмических сигналов [9], наиболее информативными являются частотные диапазоны в пределах 1–10 Гц и 10–100 Гц.

Задачу моделирования сейсмического шума в общем виде можно рассматривать как генерацию отсчетов псевдослучайной последовательности, вид АКФ которой задан некоторой канонической формой. При этом моделирование шума сводится

к поиску такой функции, которая с наибольшей достоверностью соответствует виду АКФ реального сейсмического шумового процесса, полученного в результате экспериментальных наблюдений. В настоящее время при решении практических задач моделирования шумовых помех различного рода широко используется модель белого шума [6]. Белый шум представляет собой стационарный случайный процесс, СПМ которого постоянна на всех частотах, а АКФ является  $\delta$ -функцией. Однако результаты экспериментальных исследований по регистрации реальных сейсмических шумов в рассматриваемом диапазоне выше 1 Гц показывают, что они обладают неравномерной спектральной характеристикой с наибольшими значениями СПМ на низких частотах и постепенным слабым затуханием значений СПМ при возрастании частоты.

Отличие спектральной характеристики реального сейсмического шума от его аппроксимации в виде белого шума, в частотном диапазоне от 1 до 100 Гц, проиллюстрировано на рис. 1, где приведён обобщённый СПМ сейсмического шума, рассчитанный по нашим экспериментальным данным. Для сравнения на рис. 1 приведён также СПМ квазибелого шума, который обладает конечной дисперсией, эквивалентной по суммарной мощности наблюдаемому реальному сейсмическому шуму в выбранном частотном диапазоне. Из сравнения графиков СПМ наблюдаемого и белого шума видно, что абсцисс точки их пересечения определяет две принципиально различные области в частотном диапазоне. В пределах первой области СПМ реального сейсмического шума значительно превосходит уровень СПМ белого шума, а в пределах второй области уровень СПМ белого шума превосходит СПМ реального сейсмического шума. Очевидно, что использование белого шума в качестве модели реальных шумов может значительно исказить результаты решения задач по обнаружению сейсмических сигналов и моделированию канала получения данных.

Для практической демонстрации этого тезиса были построены спектральные характеристики, имитирующие полезные сейсмические сигналы импульсного вида (рис. 1), возбуждаемые некоторыми источниками на фоне шума. В области I, при условии, что максимумы СПМ сигналов, имитирующих источник, на заданной частоте превосходят уровень белого шума, но, в то же время, являются меньшими относительно СПМ реального шума, – возникает ситуация, приводя-



**Рис. 1.** Сравнительный анализ СПМ реального сейсмического и белого шума. Области шума I и II. Графики: 1 – СПМ наблюденного сейсмического шума, 2 – СПМ квазибелого шума, 3 – спектр импульсного сигнала в области I и II

шая к увеличению общего количества ложных обнаружений. В области II, при условии, что максимумы СПМ имитирующих сигналов превосходят СПМ реального шума, но имеют значения ниже уровня белого шума, взятого в качестве аппроксимации, возникает ситуация, характеризующаяся увеличением общего числа пропусков полезных сигналов. Таким образом, использование модели белого шума для анализа обнаружения реальных геофизических сигналов может приводить к ошибочным выводам в силу несоответствия модели реальному процессу сейсмического шума. Следовательно, возникает задача синтеза некоторой приемлемой аналитической модели шума, удовлетворяющей наблюдательным фактам в диапазоне относительно высоких частот. Для решения этой задачи необходимо обратиться к результатам экспериментальных оценок СПМ реального сейсмического шума и установить структуру аналитической аппроксимации полученной статистической оценки СПМ. Далее, опираясь на установленный вид аппроксимации, необходимо выполнить синтез цифрового фильтра, редуцирующего случайный импульсный процесс вида белого шума к сигналу, АКФ которого примерно соответствует реальному сейсмическому шуму.

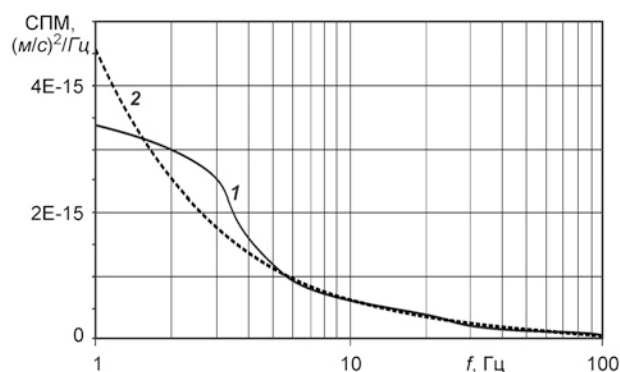
Определение вида СПМ было выполнено путем усреднения энергетических спектров, полученных в результате экспериментальных наблюдений по ряду относительно тихих (с точки зрения минимального воздействия техногенных и природных помех) районов России: Центральный регион РФ, Северный Кавказ, Восточная Сибирь, Дальний Восток, Таймыр, Кольский п-ов. Усреднение данных производилось по материалам спек-

трального анализа представительных интервалов записей реального сейсмического шума, с исключенными участками техногенных и значимых по амплитуде естественных сейсмологических событий, полученных за весь период регистрации. Результатом такой обработки явилась достоверная оценка СПМ сейсмических шумов, по конкретным районам проведения наблюдений.

Для полученных усредненных зависимостей СПМ были рассмотрены их аналитические аппроксимации простыми алгебраическими функциями. Анализ использованных аппроксимирующих конструкций показал, что достаточно высокую сходимость, по отношению к экспериментальным статистическим данным для СПМ реального сейсмического шума, обеспечивает степенная функция вида

$$\tilde{G}(f) = b \cdot (f)^{-c}, \quad (1)$$

где  $f$  – частота, а  $b$  и  $c$  – константы аппроксимации. При обработке материалов было установлено, что значения коэффициента  $c$  (для большинства районов проведения измерений) лежат в пределах 0,7–1,3. Таким образом, аналитическую аппроксимацию СПМ реального сейсмического шума можно рассматривать как обратно пропорциональную зависимость его спектрального уровня от частоты. Пример такой усредненной СПМ реального сейсмического шума, зарегистрированного в районе сейсмической станции «Кисловодск», и его аналитической аппроксимации показан на рис. 2.



**Рис. 2.** Пример аппроксимации СПМ сейсмического шума. 1 – СПМ наблюденного сейсмического шума, 2 – аппроксимация СПМ (диапазон 1–10 Гц:  $b = 5 \cdot 10^{-15}$  и  $c = 0,86$ ; диапазон 10–100 Гц:  $b = 6 \cdot 10^{-15}$  и  $c = 0,95$ )

Для случайного процесса, каким и является сейсмический шум, определение аналитического вида его АКФ можно выполнить на основании те-

оремы Винера-Хинчина [6]. Для полученной аналитической аппроксимации СПМ реального сейсмического шума в форме (1), являющейся чётной вещественной функцией, теорему Винера-Хинчина запишем как

$$R(\tau) = \frac{1}{\pi} \int_0^{+\infty} \tilde{G}(\omega) \cos \omega \tau d\omega, \quad (2)$$

где  $\omega$  – круговая частота. Пример построения нормированной АКФ по результатам экспериментальных наблюдений с использованием статистических методов приведён на рис. 3. Вид нормированной АКФ реального сейсмического шума вблизи сейсмостанции «Кисловодск», значительно отличается от соответствующей ей по уровню суммарной мощности нормированной АКФ белого шума. Данный результат подтверждает вывод о коррелированном характере сейсмического шума и свидетельствует о не применимости модели белого шума для рассмотренного случайного процесса.

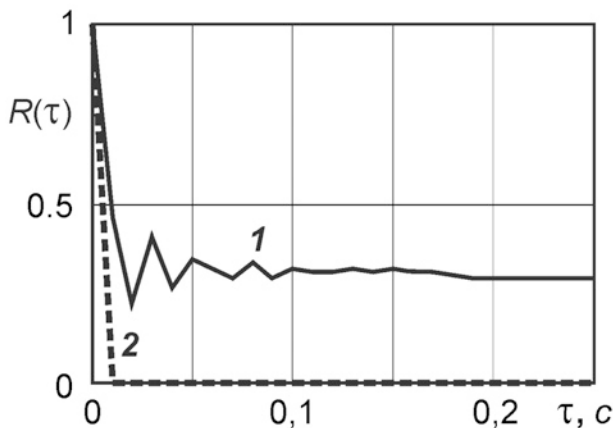


Рис. 3. Нормированные АКФ реального сейсмического и белого шума. 1 – АКФ сейсмического шума, 2 – АКФ белого шума

Приведённые результаты демонстрируют необходимость учета специфики коррелированного сейсмического шума при численном решении задач оценки обнаружения сигналов и статистическом моделировании сейсмических шумовых сигналов [4, 9]. В связи с этим представляется интересным рассмотреть один возможный подход, реализующий редуцирование случайного процесса вида белого шума к некоторому коррелированному случайному процессу.

## 2. Методика реализации модели шума с заданным видом спектральной функции

Преобразование сигнала, при прохождении его через некоторый заданный фильтр, называется фильтрацией сигнала. Задачей фильтрации является выведение нужного нам сигнала из некоторого совокупного потока информации, как правило, осложненного различными шумами или другими сигналами. На практике, используется множество различных процедур цифровой фильтрации, ориентированных на выделение специфических черт в изучаемых сейсмических сигналах [3–5]. Используем существующие подходы к фильтрации сигналов [6] для целей построения реалистичной модели сейсмического шума.

Рассмотрим преобразование некоторого сигнала  $f(t)$ , которое во временной области дается интегралом свертки, определяемым как

$$F(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t - \tau) \phi(\tau) d\tau, \quad (3)$$

где  $f(t - \tau)$  – исходный сигнал, зависящий от аргумента  $(t - \tau)$  и  $F(t)$  – преобразованный сигнал, а  $L(t)$  – ядро интеграла свертки. На основании теоремы о спектре интеграла свертки [6] для спектра правой части (3) имеем

$$S_F(\omega) = S_f(\omega) \cdot \Phi(\omega), \quad (4)$$

где  $S_F(\omega)$  – спектр трансформированной функции  $F(t)$ ,  $S_f(\omega)$  – спектр исходной функции  $f(t)$ , а  $\Phi(\omega)$  – спектр ядра свертки  $L(t)$ . Необходимым условием корректности представлений (3), (4) является требование ограниченности сигнала

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f^2(t) dt < \infty$$

и условие регулярности функции на бесконечности в виде

$$f(t) \Big|_{t \rightarrow \pm\infty} \rightarrow 0.$$

Функция  $L(t)$  называется переходной характеристикой, а  $\Phi(\omega)$  – спектром переходной характеристики интегрального преобразования (3). Для переходной характеристики и её спектра связь устанавливается парой преобразований Фурье [6] в виде

$$\Phi(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \phi(t) e^{-i\omega t} dt, \quad (5)$$

$$\phi(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (6)$$

Как было показано выше по результатам анализа экспериментальных наблюдений шумов, высокочастотную часть энергетического спектра природного сейсмического шума можно приближенно рассматривать в форме

$$G(\omega) = \frac{1}{\omega^{1+\alpha}}, \quad (7)$$

где константа  $\alpha$  принимает, в нашем случае, значения в диапазоне  $(-1/4, 1/4)$ . Располагая данными о характере энергетического спектра реального сейсмического шума, можно построить модель его численной реализации, используя представление о фильтрации сигнала в виде аппроксимации (1).

Допустим, что имеется некоторый широкополосный спектр случайного процесса, которым можно приближенно описать природный шум. Редуцицию спектра такого процесса к спектру, примерно отвечающему наблюдаемому природному сейсмическому шуму (7), можно представить как некоторую узкополосную фильтрацию в диапазоне  $[\omega_1, \omega_2]$  с плавным подавлением высокочастотной части. В качестве приемлемой аппроксимации такой переходной частотной характеристики, с точностью до постоянного множителя, возьмем функцию вида

$$\Phi_R(\omega) = (\omega + \Omega)^{\mu-1}, \quad \begin{cases} \omega \in [\omega_1, \omega_2] \\ \omega \notin [\omega_1, \omega_2] \end{cases}, \quad (8)$$

где  $\Omega$  – некоторая константа, определяемая по экспериментальным данным, а величина константы  $0 < \mu < 1$  принимает значение в диапазоне  $(1/2 - \alpha/2, 1/2 + \alpha/2)$ .

Очевидно, что по соображениям симметрии преобразования (4), спектральная характеристика  $\Phi_R(\omega)$  должна быть четной. В силу этого, ядро интеграла свертки (3) будет вещественной четной функцией и его можно вычислить, на основании (6), как косинус преобразование

$$\phi_R(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{+\infty} \Phi_R(\omega) \cdot \cos \omega t d\omega = \frac{1}{\pi} \int_{\omega_1}^{\omega_2} (\omega + \Omega)^{\mu-1} \cos \omega t d\omega.$$

Для вычисления интеграла используем подстановку  $(\omega + \Omega) = \xi$ , и тогда запишем

$$\phi_R(t) = \frac{1}{\pi} \int_{\omega_1 + \Omega}^{\omega_2 + \Omega} \xi^{\mu-1} \cos(\xi - \Omega)t d\xi = \frac{1}{\pi} \int_{\omega_1 + \Omega}^{\omega_2 + \Omega} \xi^{\mu-1} (\cos \xi t \cdot \cos \Omega t + \sin \xi t \cdot \sin \Omega t) d\xi =$$

$$= \frac{\cos \Omega t}{\pi} \int_{\omega_1 + \Omega}^{\omega_2 + \Omega} \xi^{\mu-1} \cos \xi t d\xi + \frac{\sin \Omega t}{\pi} \int_{\omega_1 + \Omega}^{\omega_2 + \Omega} \xi^{\mu-1} \sin \xi t d\xi.$$

Далее воспользуемся заменой  $\xi t = x$ , с помощью которой преобразуем интегралы к виду

$$\begin{aligned} \phi_R(t) &= \frac{\cos \Omega t}{\pi t^\mu} \int_{(\omega_1 + \Omega)t}^{(\omega_2 + \Omega)t} x^{\mu-1} \cos x dx + \frac{\sin \Omega t}{\pi t^\mu} \int_{(\omega_1 + \Omega)t}^{(\omega_2 + \Omega)t} x^{\mu-1} \sin x dx = \\ &= \frac{\cos \Omega t}{\pi t^\mu} \left( \int_{(\omega_1 + \Omega)t}^{\infty} x^{\mu-1} \cos x dx - \int_{(\omega_2 + \Omega)t}^{\infty} x^{\mu-1} \cos x dx \right) + \\ &+ \frac{\sin \Omega t}{\pi t^\mu} \left( \int_{(\omega_1 + \Omega)t}^{\infty} x^{\mu-1} \sin x dx - \int_{(\omega_2 + \Omega)t}^{\infty} x^{\mu-1} \sin x dx \right) \end{aligned}$$

Фигурирующие в последнем выражении интегралы представляют обобщенные косинус- и синус-интеграл Френеля [10, 11], обозначаемые как  $C(y, \mu)$  и  $S(y, \mu)$ . В этих обозначениях запишем окончательно выражение для нашего ядра интеграла свертки

$$\begin{aligned} \phi_R(t, \Omega, \omega_1, \omega_2, \mu) &= \frac{\cos \Omega t}{\pi t^\mu} \cdot [C((\omega_1 + \Omega)t, \mu) - C((\omega_2 + \Omega)t, \mu)] + \\ &+ \frac{\sin \Omega t}{\pi t^\mu} \cdot [S((\omega_1 + \Omega)t, \mu) - S((\omega_2 + \Omega)t, \mu)], \quad (9) \end{aligned}$$

где функции  $C$  и  $S$ , при условии  $[\text{Re } \mu < 1]$ , определены как

$$C(y, \beta) = \int_y^{\infty} x^{\beta-1} \cos x dx, \quad (10)$$

$$S(y, \beta) = \int_y^{\infty} x^{\beta-1} \sin x dx, \quad (11)$$

Таким образом, выражение (9) определяет в явной форме ядро интеграла свертки с частотной переходной характеристикой в форме (8). Значение функции  $\phi_R(t, \Omega, \omega_1, \omega_2, \mu)$ , редуцирующей широкополосный природный процесс к реальному сейсмологическому шуму, может быть получено только численно в виде коэффициентов линейного преобразования, соответствующего свертке в форме (3). Вычисление коэффициентов редуцирования широкополосного шума выполняется непосредственно численным интегрированием (9) с учетом определений (10) и (11).

### 3. Синтез коррелированного сейсмического шума

Рассмотрим пример синтеза коррелированного шума для его заданной спектральной функции. По результатам анализа экспериментальных наблюдений шумов в районе сейсмостанции «Кисловодск» высокочастотную часть энергетического спектра природного сейсмического шума (в диапазоне от 1 до 10 Гц) можно приближенно рассматривать в форме (7), где константа  $\alpha$  принимает значение 0,14, а константа  $\mu$  в выражении для спектра переходной частотной характеристики (8) равняется 0,5. Примем также, что нижняя и верхняя граничные частоты в (8) для нашего модельного процесса равны, соответственно, 1 и 10 Гц.

Для указанных исходных данных, методом адаптивного интегрирования соотношения (6) с шагом по времени  $\Delta t = 0,01$  с, вычислены коэффициенты дискретного численного преобразования (3), осуществляющего редуцирование широкополосного шума к шуму, определяемому спектром вида (8). Количество коэффициентов было принято равным 500, что достаточно для точного представления цифрового фильтра при наших значениях верхней частоты коррелированного сигнала. График значений коэффициентов фильтра, с выбранными параметрами преобразования, показан на рис. 4. Коэффициенты содержат несущие гармоники верхней частоты 10 Гц, сложным образом промодулированные нижней граничной частотой 1 Гц.

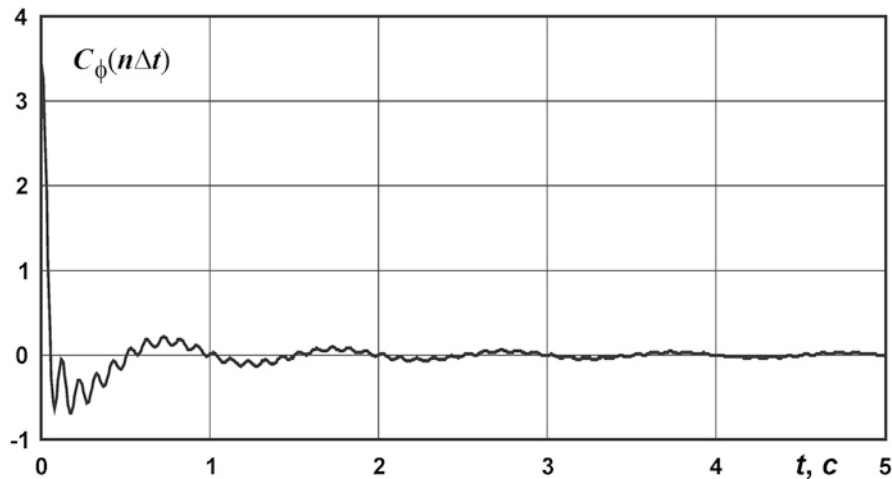


Рис. 4. График коэффициентов редуцирования широкополосного шума

С использованием стандартных процедур рандомизации, имеющихся в системе компьютерной математики MathCad 14, сформируем исходный импульсный случайный процесс из последовательности некоррелированных по времени и амплитуде  $\delta$ -импульсов, характеризуемый стандартным отклонением амплитуд в  $2 \cdot 10^{-8}$  м/с и нулевым средним значением, что примерно соответствует параметрам реального сейсмологического шума. Всего в сгенерированной выборке, в данном конкретном случае, присутствует 375 отдельных импульсов. Амплитудный график такого импульсного случайного процесса показан на рис. 5 а. Очевидно, что оценка энергетического спектра сгенерированного процесса отвечает квазиглобальному шуму в диапазоне частот, заведомо перекрывающему наш частотный диапазон 1–10 Гц. Последующее применение к сгенерированному им-

пульсному процессу численного преобразования свертки (3) с ядром в форме ряда рассчитанных коэффициентов  $C_\phi(n\Delta t)$ , позволяет редуцировать импульсный процесс к коррелированному процессу с ограниченным «розовым» спектром. Синтезированный случайный процесс амплитуд коррелированного шума, показанный на рис. 5 б, демонстрирует качественное согласие с реальными записями сейсмического шума в выбранном диапазоне частот.

Прямым вычислением СПМ приведённого коррелированного процесса (рис. 5 б) можно показать, что его усредненная спектральная характеристика точно соответствует принятому виду исходной аппроксимации спектра шума вида (8). Очевидно, что изменяя параметры исходного импульсного сигнала и параметры редуцирующего фильтра можно строить самые различные по

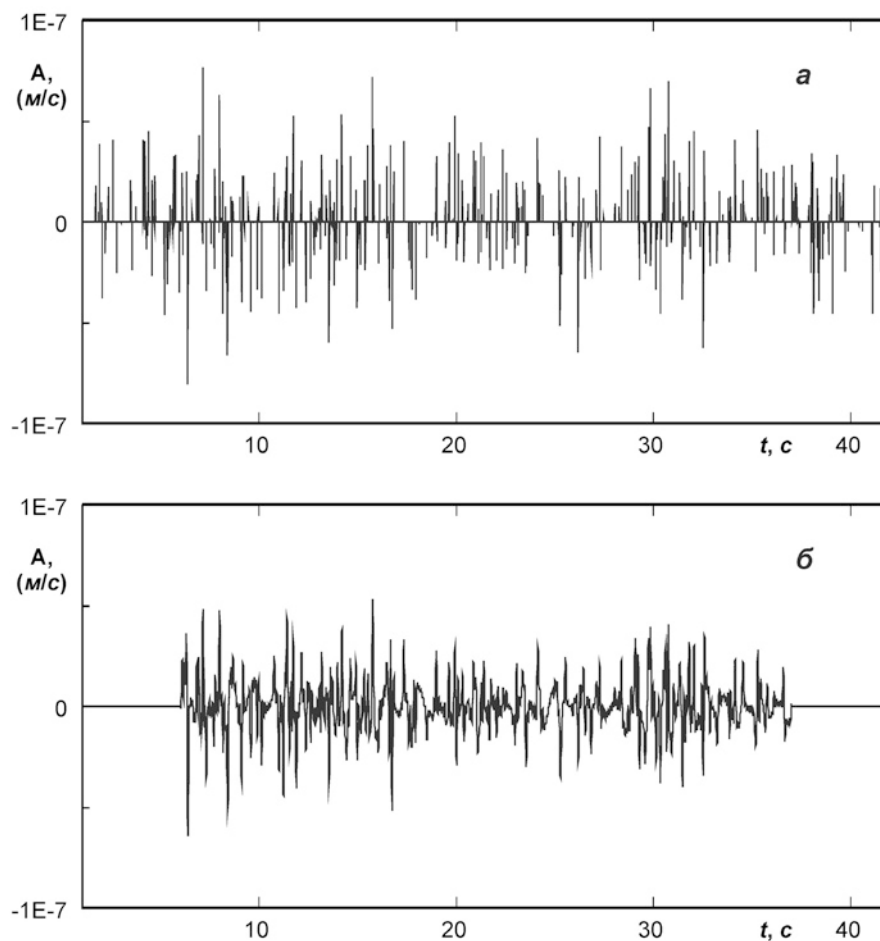


Рис. 5. Синтез коррелированного сейсмического шума. Исходный импульсный случайный процесс (а), синтезированный коррелированный шум (б)

структуре и частотному составу процессы коррелированных шумов.

Синтезированный таким способом случайный процесс коррелированного сейсмического шума, с заданной аппроксимацией спектральной плотности мощности, можно эффективно использовать при статистическом моделировании задач обнаружения [9] узкополосных сейсмических сигналов на фоне коррелированных помех.

### Выводы

1. Показана ограниченность возможностей использования белого шума в качестве модели естественных сейсмических шумов.

2. Проведен анализ характеристик сейсмических шумов по данным экспериментальных наблюдений и предложена аппроксимационная аналитическая модель, описывающая СПМ реального сейсмического шума.

3. Предложен численный метод синтеза коррелированного сейсмического шума с заданным видом его спектральной плотности мощности.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Табулевич В. Н. Комплексные исследования микросейсмических колебаний / В. Н. Табулевич. – Новосибирск : Наука, 1986. – 151 с.
2. Gurrola B. H. Analysis of the high-frequency seismic noise in the western United States and eastern Kazakhstan / B. H. Gurrola [et al.] // Bull. Seism. Soc. Am., 1990. – V. 80. – № 4. – P. 951–970.
3. New Manual of Seismological Observatory Practice. Volume 1 / ed. P. Bormann. IASPEI, GeoForschungsZentrum, Potsdam, 2002. – 1111 p.
4. Кедров О. К. Сейсмические методы контроля ядерных испытаний / О. К. Кедров. – М. : Наука, 2005. – 301 с.
5. Havskov J. Processing Earthquake Data. – GeoForschungsZentrum / J. Havskov, L. Ottemöller. – Potsdam, 2008. – 342 p.
6. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники (Книга первая) / Б. Р. Левин. – М. : Советское радио, 1974. – 550 с.
7. Peterson J. Observation and modelling of seismic background noise / J. Peterson // USGS Tech. Rept. Open-Files, 93-322. Albuquerque. – NM. – 1993. – 95 p.

8. *Кишкина С. Б.* Микросейсмический шум севера Европейской части России по результатам сейсмической регистрации в г.Воркута / С. Б. Кишкина, А. А. Спивак // Вулканология и сейсмология. – 2010. – № 4. – С. 68–80.

9. *Глазнев В. Н.* Информационное обеспечение системы сейсмоакустического мониторинга техногенных объектов / В. Н. Глазнев, Д. О. Плаксин, Е. Ю. Дручек //

Системы управления и информационные технологии. – 2010. – № 1, 2 (30). – С. 294–297.

10. *Янке Е.* Специальные функции / Е. Янке, Ф. Эмде, Ф. Лёш. – М. : Наука, 1977. – 342 с.

11. *Прудников А. П.* Интегралы и ряды / А. П. Прудников, Ю. А. Брычков, О. И. Маричев. – М. : Наука, 1981. – 797 с.

*ГНИИИ ПТЗИ ФСТЭК России*

*А.В. Анищенко, заместитель начальника*

*SRITI PTSI FDTEC of Russia*

*A. V. Anischenko, Deputy director*

*Воронежский государственный университет*

*В. Н. Глазнев, заведующий кафедрой геофизики  
glaznev@geol.vsu.ru*

*Voronezh State University*

*V. N. Glaznev, Head of the geophysical department  
glaznev@geol.vsu.ru*

*ГНИИИ ПТЗИ ФСТЭК России*

*Д. О. Плаксин, старший научный сотрудник  
plksn@mail.ru*

*SRITI PTSI FDTEC of Russia*

*D. O. Plaksin, senior scientist  
plksn@mail.ru*

*Е. Ю. Дручек, научный сотрудник*

*e\_druchek@mail.ru*

*E. Yu. Druchek research scientist*

*e\_druchek@mail.ru*