

УДК 550.34

КОММЕНТАРИЙ К СТАТЬЕ А.А. ЛЮБУШИНА, Г.Н. КОПЫЛОВОЙ, Ю.К. СЕРАФИМОВОЙ “СВЯЗЬ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫХ И ЭНТРОПИЙНЫХ СВОЙСТВ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА НА КАМЧАТКЕ С НЕРАВНОМЕРНОСТЬЮ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ”

© 2021 г. В. А. Салтыков*

*Камчатский филиал Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба РАН”,
г. Петропавловск-Камчатский, Россия*

**E-mail: salt@emsd.ru*

Поступила в редакцию 04.08.2020 г.

После доработки 17.09.2020 г.

Принята к публикации 10.10.2020 г.

В комментарии к статье рассматривается проблема кондиционности исходных сейсмологических данных нестандартного низкочастотного диапазона с точки зрения метрологии, а также ставится под сомнение обоснованность получаемых результатов. Последний аспект связывается с полным отсутствием в работе А.А. Любушина с соавторами оценок доверительных интервалов в рассчитываемых статистиках, что не соответствует общепринятым подходам к представлению результатов обработки экспериментальных данных. Без проведения таких оценок авторами был сделан необоснованный вывод о коррелированности процессов и, как следствие, о триггерном воздействии неравномерности вращения Земли на сейсмический процесс.

Ключевые слова: сейсмический шум, неравномерность вращения Земли, триггерный эффект.

DOI: 10.31857/S0002333721020101

Статья продолжает многолетнюю серию работ А.А. Любушина (с соавторами или единолично) по исследованию вариаций низкочастотного сейсмического шума. Последние публикации автора (одна из них упоминается в статье) посвящены исследованию связи сейсмического шума с неравномерностью вращения Земли. Рассматриваемая статья в целом следует логике построения статьи Любушина А.А. [Lyubushin, 2020] и представляет результаты, полученные по камчатским данным, что, безусловно, представляет интерес.

Следует отметить, что разрабатываемый подход к анализу сейсмических сигналов в нетрадиционно низком диапазоне частот является уникальным опытом авторского коллектива, возглавляемого А.А. Любушиным, и результаты этой продолжительной работы стимулируют широкое применение такого подхода в сейсмологической практике вплоть до рутинной обработки. Именно по этой причине хотелось бы остановиться на кондиционности исходных данных с точки зрения метрологии, а также обоснованности получаемых результатов. Последний аспект связывается с полным отсутствием в работах А.А. Любушина с соавторами оценок доверительных интервалов в рассчитываемых статистиках, что не соответству-

ет общепринятым подходам к представлению результатов обработки экспериментальных данных.

ПРАВОМЕРНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕСЕРТИФИЦИРОВАННОГО ЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА В СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Во всех работах А.А. Любушина с соавторами, связанных со статистическим анализом низкочастотного сейсмического шума, рассматриваются сигналы в частотном диапазоне существенно ниже заявленного в характеристиках используемых сейсмометров. В частности, в этой статье речь идет о периодах от 2 до 1000 мин, а нижняя частота для сейсмометра CMG-6TD – $f = 0.033$ Гц, что соответствует периоду $T = 30$ с. Отметим, что большинство исходных данных получено на станциях именно с сейсмометрами CMG-6TD (12 станций из 21 используемых [Касимова и др., 2018]). Авторы не утаивают эту проблему и пытаются как-то обосновать свой подход. К сожалению, их аргументация представляется недостаточно убедительной.

Прежде всего, бросается в глаза основной тезис: “Здесь мы исходим из предположения, что ап-

паратурные ограничения по низкой частоте сигнала приводятся исключительно для корректного отображения движений грунта при отдельных землетрясениях... Следует заметить, что разработчиками ... аппаратуры не рассматривались задачи использования ... сейсмических записей в более широком диапазоне частот. ... Мы полагаем, что при решении задач геофизического мониторинга имеется принципиальная возможность более широкого применения ... аппаратуры, превышающая формальные ограничения на рабочую полосу частот". И в соответствии с этими абсолютно неоспорными тезисами проводится весь последующий анализ. Интересно, что авторы не приводят ни одной ссылки на работы специалистов в области сейсмологии. И тогда становится неясным, на каком основании базируются их "исходим" и "полагаем". А ведь проблемой состава регистрируемого шума, включающего помимо природной компоненты также инструментальную, занимаются очень плотно, если судить по публикациям (Для примера, см. библиографический список к монографии [Кислов, Гравиров, 2013]). И эта инструментальная компонента может быть вызвана множеством причин, начиная с температурных колебаний и прямого воздействия флуктуаций атмосферного давления, но не ограничиваясь ими. Причем, "чем длиннее период сейсмического явления, который мы хотим адекватно фиксировать, тем больше влияние на приборы окружающей среды" [Кислов, Гравиров, 2013, с. 190]. И тогда возникает вопрос: а попадают ли отфильтрованные авторами низкочастотные компоненты зарегистрированных сигналов в динамический диапазон сейсмометра? В другой формулировке этот вопрос можно задать так: а является ли низкочастотный шум, анализируемый в статьях А.А. Любушина с соавторами, СЕЙСМИЧЕСКИМ?

Авторы, очевидно, не игнорируют этот вопрос. Но не делают никаких расчетных оценок, касающихся величины смещений, вызывающих выделенные низкочастотные сигналы. Для обоснования своей позиции они выбирают косвенный подход — демонстрацию низкочастотных компонент, соответствующих собственным колебаниям Земли в спектрах мощности сигнала (рис. 2 в статье). Комментарии этих графиков в статье минимальны и несодержательны: "видно" и хорошо. Предлагается посмотреть на эти графики под несколько другим углом. Прежде всего, заметим (авторы на это не указывают) что 7 из 8 приведенных графиков на рис. 2 соответствуют сейсмометрам CMG-6TD. График PET относится к сейсмометру STS-1 сейсмостанции Петропавловск, входящему в комплект оборудования IRIS, что уже говорит о многом касательно его помехозащищенности, хотя есть сведения [https://www.iris.edu/hq/programs/gsn/quality] об ухудшении качества данных в процессе эксплуатации. Так вот эта, вероятно,

лучшая из используемых станций не имеет в спектре максимума "с периодом, близким к 60 минутам". Да, на остальных графиках этот максимум присутствует в 6 случаях из 7, но амплитуды этого максимума различаются на 2 порядка, что было бы вряд ли возможно при регистрации единого деформационного процесса, каким является основная сфероидальная мода ${}_0S_2$ собственных колебаний Земли с периодом 54 мин. Тем более это никак не объясняет отсутствие подобного максимума на двух станциях. По тем же причинам невозможно относиться к "набору монохроматических гармоник" как к "соответствующему различным модам собственных колебаний".

Если вышеизложенная аргументация верна, то следует признать, что авторы не предоставили доказательств того, что анализируемый ими сигнал является сейсмическим. И в этом случае имеет смысл предположить, что выявляемые авторами эффекты могут связываться не с сейсмическим шумом, отражающим деформированное состояние твердой среды, а с комплексным прямым воздействием окружающей среды (включая, возможно, в первую очередь атмосферу) на работу сейсмометра. Тогда на настоящем этапе рассматриваемых исследований логично было бы убрать "сейсмический" из "низкочастотного сейсмического шума".

ОБ ОБОСНОВАННОСТИ ОСНОВНОГО РЕЗУЛЬТАТА СТАТЬИ

Основным результатом статьи представляется обнаруженный авторами эффект "запаздывания интенсивности сейсмического процесса относительно изменений когерентности", интерпретируемый "как проявление триггерного воздействия неравномерности вращения Земли на сейсмический процесс".

В первую очередь обратим внимание на величину максимума корреляции $\rho = 0.32$ между логарифмом энергии и значением квадратичного спектра когерентности на рис. 7. С учетом того, что исходные ряды данных имеют продолжительность 9 лет, а используемое скользящее окно составило $\frac{1}{2}$ года (182 сут), то есть число степеней свободы равно $n = 18$, возникает вопрос, а говорит ли в таком случае полученное значение корреляции $\rho = 0.32$ о коррелированности двух рассматриваемых рядов?

Полученное значение 0.32 находится внутри доверительного интервала $[-r, r]$ для $\rho = 0$: $r = 0.40$ при доверительной вероятности $\alpha = 0.9$ и $n = 18$ [Большев, Смирнов, 1965]. То есть в представленном случае можно говорить об отсутствии корреляции между двумя рассматриваемыми рядами. Но тогда теряет смысл сама оценка временного сдвига максимума корреляции.

Это остается верным и для рассмотрения корреляции в окне 5 лет (рис. 8). Учитывая, что здесь $n = 5 \text{ лет}/182 \text{ сут} = 10$, для той же доверительной вероятности определяется $r = 0.55$ [Большев, Смирнов, 1965]. И тогда график максимального по модулю коэффициента корреляции (рис. 8а) ни разу не выходит за пределы $[-r, r]$.

Здесь нужно сделать еще одно замечание. Так называемая “нормальная” корреляция обычно применяется для рядов с нормальным (или похожим на нормальное) распределением. Но к рассматриваемому случаю это не относится: представленный на рис. 6б ряд, очевидно, не имеет нормального распределения. В этом случае имело бы смысл использовать один из методов расчета ранговой корреляции и соответствующие оценки ее значимости. По фактуре (рис. 6, рис. 8) очевидно, что величина определенного авторами сдвига максимума корреляции обусловлена лишь сдвигом максимума энергии в интервале относительно когерентности в его окрестности. Это соответствует наиболее активному 2013 г. на графике 6, а на рис. 8 объясняет резкое изменение сдвига, как только меняется максимум полугодовой энергии в 5-летнем окне. Но именно эти максимумы делают ряды существенно ненормальными и запрещают использование классической корреляции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На настоящий момент вопрос о возможности использования несертифицированного частот-

ного диапазона сейсмических станций для анализа именно сейсмического шума остается открытым. Это ни в коей мере не делает бессмысленным разрабатываемое А.А. Любушиным с соавторами направление статистического анализа непрерывных потоков данных, которые являются результатом влияния множества факторов, не ограниченного деформационным полем Земли.

Без проведения оценки статистической значимости корреляции авторами был сделан необоснованный вывод о коррелированности процессов и, как следствие, о триггерном эффекте. Возможно, при должном расчете кросскорреляции будут получены корректные результаты, но в настоящий момент основной результат статьи нельзя признать состоятельным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: Наука. 1965.
- Касимова В.А., Копылова Г.Н., Любушин А.А. Вариации параметров фонового сейсмического шума на стадиях подготовки сильных землетрясений в Камчатском регионе // Физика Земли. 2018. № 2. С. 269–283.
- Кислов К.В., Гравиров В.В. Исследование влияния окружающей среды на шум широкополосной сейсмической аппаратуры. Вычислительная сейсмология. Вып. 42. М.: КРАСАНД. 2013. 240 с.
- Lyubushin A. Connection of Seismic Noise Properties in Japan and California with Irregularity of Earth's Rotation // Pure Appl. Geophys. 2020.
<https://doi.org/10.1007/s00024-020-02526-9>

Comment on the paper “Relationship between Multifractal and Entropy Properties of Seismic Noise in Kamchatka and Irregularity of the Earth's Rotation” by A.A. Lyubushin, G.N. Kopylova, and Yu.K. Serafimova

V. A. Saltykov*

*Kamchatka Branch, Federal Research Center “Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences”,
Petropavlovsk-Kamchatskii, 683006 Russia*

**e-mail: salt@emsd.ru*

In the comments to the article, the problem of conditioning the initial seismological data of a non-standard low-frequency range from the point of view of metrology is considered. Also the validity of the results obtained is questioned. The latter aspect is associated with the complete absence of the author's estimates of confidence intervals in the calculated statistics, which does not correspond to the generally accepted approaches to the presentation of the results of experimental data processing. Without such estimates, A.A. Lyubushin et al. made an unjustified conclusion about the correlation of processes and, as a consequence, about the trigger effect of the irregularity of Earth's rotation on the seismic process.

Keywords: seismic noise, irregularity of Earth's rotation, trigger effect