

## Вариации фонового сейсмического шума в районе полуострова Камчатка в 2011-2020 гг.: связь с сильными землетрясениями

Г.Н. Копылова, В.А. Касимова

Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006;

e-mail: [gala@emsd.ru](mailto:gala@emsd.ru)

Представлены результаты изучения вариаций параметров фонового сейсмического шума (ФСШ) в районе полуострова Камчатка в 2011-2020 гг. с использованием записей на сети широкополосных станций ФИЦ ЕГС РАН в связи с землетрясениями с  $M_w \geq 6.6$ . По данным ФСШ 2011-2018 гг. выделена область подготовки сильных землетрясений в диапазоне широт 53-58° с.ш., где произошли 5 землетрясений с  $M_w = 6.6-8.3$ . С 2019 г. наблюдается формирование области подготовки землетрясений в диапазоне широт 50-54° с.ш.

Техническое развитие системы сейсмологических наблюдений в Дальневосточном регионе России в XXI в. [6, 7] обеспечило условия для изучения вариаций сейсмического шума на сети широкополосных станций ФИЦ ЕГС РАН и оценки сейсмопрогностического потенциала таких данных. С 2011 г. в лаборатории геофизических исследований КФ ФИЦ ЕГС РАН проводятся исследования статистических свойств ФСШ, зарегистрированного на сети из 21 сейсмической станции (рис. 1), с использованием методики и программных средств, созданных А.А. Любушиным, ИФЗ РАН [2-5].

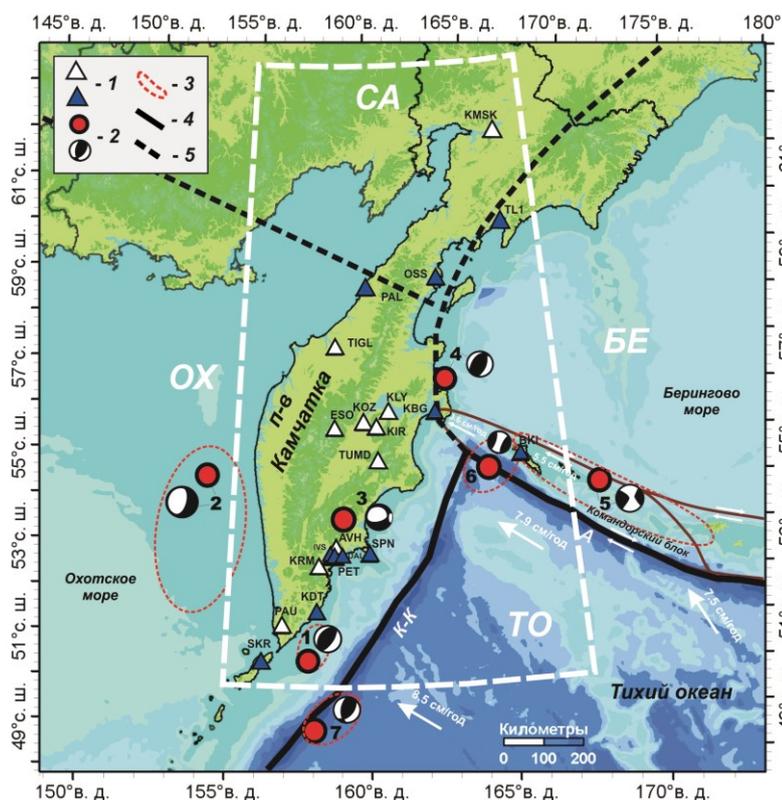


Рис 1. Карта п-ова Камчатка с расположением с/станций и эпицентров землетрясений,  $M_w = 6.6-8.3$ , с элементами тектоники, орографии и батиметрии (по рис. 1 из [3] с дополнениями): 1 – сейсмические станции с указанием их кодов; 2, 3 – эпицентры землетрясений с  $M_w \geq 6.6$ , их механизмы и области очагов по афтершокам; 4 – северо-западная и северо-восточная границы Тихоокеанской (ТО) океанической литосферной плиты: Курило-Камчатский (К-К) и Алеутский (А) глубоководные желоба; 5 – граница Северо-Американской (СА) континентальной литосферной плиты и малых литосферных плит Берингия (БЕ) и Охотская (ОХ).

### Методика исследований

В работе использовались временные ряды четырех статистик сейсмического шума: мультифрактальные параметры – обобщенный показатель Херста  $\alpha^*$ , ширина носителя спектра сингулярности  $\Delta\alpha$ ; вейвлетная спектральная экспонента  $\beta$  и минимальная нормализованная энтропия вейвлет-коэффициентов шума  $En$ . Все параметры рассчитывались для каждой станции по 1-минутным записям сейсмических

сигналов, зарегистрированных на вертикальных каналах, во временном окне 1 сут. По этим данным строились ежесуточные карты распределения параметров ФСШ для области 50-64° с.ш., 155-168° в.д. (рис. 1), которые усреднялись для различных интервалов времени (3, 6, 9 мес., 1, 2 года) и за весь период предшествующих наблюдений. Карты за весь период наблюдений назывались «фоновыми» картами, и с ними производилось сравнение карт за более короткие интервалы времени [2-4].

В соответствии с сейсмопрогностическим алгоритмом А.А. Любушина [5], для рассматриваемого района по «фоновым» картам за 2011-2017 гг. был выделен фрагмент сейсмоактивной зоны в диапазоне широт 53-58° с.ш. как наиболее опасный для возникновения землетрясений с  $M_w \geq 7.5-8.0$  [2, 4] (рис. 2а). За период наблюдений с 2013 г. по настоящее время в этом районе и вблизи его границ произошли пять из семи землетрясений (№№ 2-6 на рис. 1), в т.ч. два события, которые относятся к классу сильнейших – мантийное Охотоморское землетрясение с  $M_w=8.3$  (№ 2) и Ближне-Алеутское землетрясение с  $M_w=7.7$  (№ 5).

По картам распределения максимальных значений  $E_n$  и минимальных значений  $\Delta\alpha$  и других мультифрактальных параметров за интервалы времени 1, 2 и 3 квартала более точно определялись районы повышенной сейсмической опасности.

Со второй половины 2020 г. построение карт распределения статистик ФСШ осуществляется с учетом конфигурации сети станций, расположенной в континентальных районах п-ова Камчатка, о-вов Беринга и Парамушир. Для этого в области мониторинга записка распределения статистик ФСШ производилась лишь в районах, расположенных на расстояниях не более среднего расстояния между станциями сети (120 км) (рис. 2в).

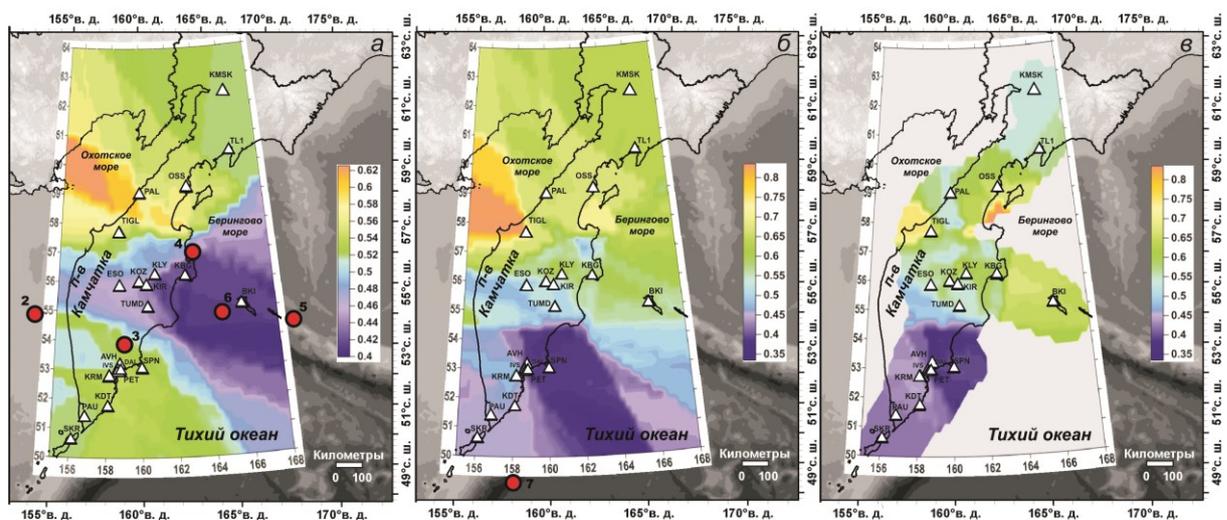


Рис. 2. Карты распределения параметра  $\Delta\alpha$  и эпицентров землетрясений с  $M_w \geq 6.6$  за период наблюдений с 2011 г. по 2017 г. («фоновая» карта) (а), с 2019 г. по 2020 г. (б) и карта за четвертый квартал 2020 г. с учетом конфигурации сети станций (в). Области повышенной опасности сильных землетрясений выделены темно-синим цветом по пониженным значениям  $\Delta\alpha$ .

Оценка вариаций поля ФСШ также производилась с помощью графиков изменения во времени медианных суточных значений параметров, рассчитанных по всем станциям сети (рис. 3). Такие величины в [2] были названы «обобщенными» параметрами ФСШ, и построение их графиков позволяло проследить динамику изменения статистик для рассматриваемого района.

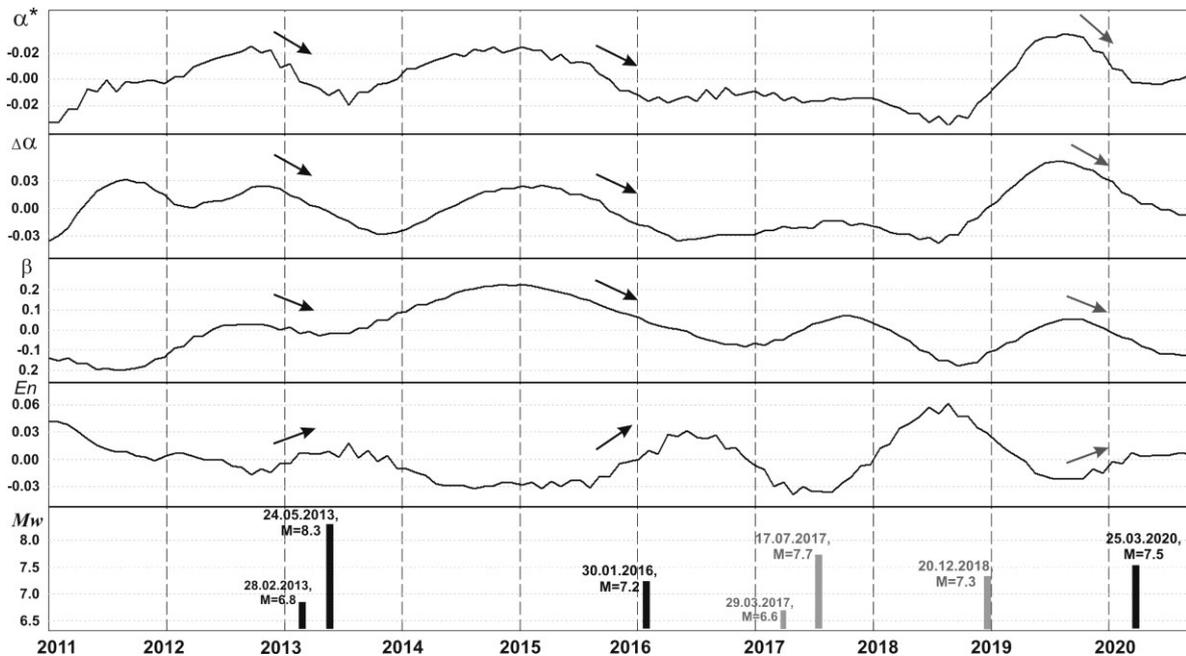


Рис. 3. Изменения «обобщенных параметров» ФСШ  $\alpha^*$ ,  $\Delta\alpha$ ,  $\beta$  и  $En$  в 2011 – сентябре 2020 гг. в сопоставлении с землетрясениями с  $M_w \geq 6.6$  [3]. **Черным цветом** показаны землетрясения, произошедшие в области Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны; **серым цветом** – землетрясения, произошедшие в области сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг (рис. 1). Черными стрелками отмечены синхронные изменения параметров ФСШ перед событиями 2013 и 2016 гг. по [2]; серыми стрелками – аналогичные синхронные изменения параметров во второй половине 2019 – сентябре 2020 гг.

### Обсуждение результатов

В 2013-2018 гг. в северной части района, в выделенном в [2, 4] «опасном» диапазоне широт  $53-58^\circ$  с.ш., произошли пять землетрясений (рис. 1, №№ 2-6) из шести, в т.ч. сильнейшее Охотоморское землетрясение с  $M_w=8.3$  и Ближне-Алеутское землетрясение с  $M_w=7.7$ . В зоне контакта ТО плиты с малыми литосферными плитами ОХ, БЕ и Командорским блоком Алеутской островной дуги (рис. 1) наблюдалась активизация сейсмичности в области размером порядка 750 км.

В изменениях «обобщенных» параметров ФСШ (рис. 3) перед землетрясениями 2013 г. №№ 1-2 и № 3 (Жупановское, 30.01.2016 г.,  $M_w=7.2$ ) в течение времени 3-8 мес. наблюдались выраженные эффекты их синхронного изменения в соответствии с сейсмопрогностическим алгоритмом – понижение величин мультифрактальных параметров  $\alpha^*$ ,  $\Delta\alpha$ ,  $\beta$  и увеличение  $En$ . Перед землетрясениями 2017-2018 гг. (№№ 4-6) в изменениях «обобщенных параметров» ФСШ эффект их синхронизации не проявлялся. Возможно, это связано с различием сеймотектонических условий возникновения землетрясений в пределах Курило-Камчатской зоны субдукции и в зоне сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Углубленный анализ этого вопроса предполагает более детальное рассмотрение геодинамических особенностей возникновения произошедших землетрясений с привлечением данных о механизмах их очагов и спутниковой геодезии.

С середины 2019 г. по 2020 г. в пространственном распределении статистик сейсмического шума произошли существенные изменения (рис. 2б, в): смещение области повышенной опасности сильных землетрясений в южную часть района (диапазон широт  $50-54^\circ$  с.ш.). С середины 2019 г. проявляется синхронное изменение «обобщенных параметров» ФСШ, которые ранее наблюдались перед землетрясениями с  $M_w=6.8-8.3$  в Камчатском фрагменте Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны (рис. 3). Эти данные позволяют предполагать наличие признака подготовки одного или нескольких землетрясений с  $M \geq 7$  в центральной и южной части Камчатского фрагмента

Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны, включающей заливы Кроноцкий, Авачинский и Южно-Камчатскую зону. Землетрясение 25 марта 2020 г. с  $M_w=7.5$ , произошедшее восточнее о-ва Парамушир в районе глубоководного желоба (рис. 1, № 7; рис. 2б), может рассматриваться в качестве одного из таких ожидаемых событий.

После этого землетрясения, по результатам обработки данных за четвертый квартал 2020 г., область повышенной опасности сильных землетрясений в южной части района не претерпела существенных изменений (рис. 2в). На основании опыта предыдущих исследований поля ФСШ в районе полуострова Камчатка и других сейсмоактивных районов мира, ожидаемые сейсмические события могут произойти в течение времени от месяцев до первых лет.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00576-21) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

При расчетах и построении карт и графиков распределения статистик сейсмического шума используются информационные ресурсы ФИЦ ЕГС РАН (<http://www.ceme.gsras.ru/new/infres/>), в т.ч. ГИС «Петропавловский геодинамический полигон» [1], информационная система POLYGON (База данных геофизических наблюдений), пополняемый цифровой архив суточных записей сейсмического сигнала на широкополосных станциях ФИЦ ЕГС РАН (канал ВНЗ) с дискретизацией 1 мин, созданные в лаборатории геофизических исследований КФ ФИЦ ЕГС РАН.

Авторы выражают благодарность: д.ф.-м.н. А.А. Любушину за многолетнюю помощь и поддержку настоящего исследования; инженеру-исследователю КФ ФИЦ ЕГС РАН Л.Н. Тарановой за ведение архива записей сейсмического шума на сети сейсмостанций и регулярное построение карт и графиков параметров ФСШ.

### Список литературы

1. *Иванов В.Ю., Касимова В.А.* Создание макета ГИС-проекта «Петропавловский геодинамический полигон» для информационного обеспечения системы комплексных геофизических наблюдений // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2009. № 1. Вып. 13. С. 208-213.
2. *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. 81-95.
3. *Копылова Г.Н., Любушин А.А., Таранова Л.Н.* Новая прогностическая технология анализа вариаций низкочастотного сейсмического шума (на примере районов Дальнего Востока России) // Российский сейсмологический журнал. 2021. Т. 3. № 1. С. 75-91.
4. *Любушин А.А., Копылова Г.Н., Касимова В.А., Таранова Л.Н.* О свойствах поля низкочастотных шумов, зарегистрированных на Камчатской сети широкополосных сейсмических станций // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2015. № 2. Вып. 26. С. 20-36.
5. *Любушин А.А.* Прогноз Великого Японского землетрясения // Природа. 2012. № 8. С. 23-33.
6. *Чеброва А.Ю., Чемарёв А.С., Матвеев Е.А. и др.* Единая информационная система сейсмологических данных в Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН: принципы организации, основные элементы, ключевые функции // Геофизические исследования. 2020. Т. 21. № 3. С. 66-91.
7. *Чебров В.Н., Дроздин Д.В., Кугаенко Ю.А. и др.* Система детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке в 2011 г. // Вулканология и сейсмология. 2013. № 1. С. 18-40.