



УДК 550.34

Г. Н. Копылова¹, А. А. Любушин², В. А. Касимова¹,
Л. Н. Таранова¹

¹ Камчатский филиал Геофизической службы РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
e-mail: gala@emsd.ru, vika@emsd.ru

² Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, г. Москва

Вариации поля низкочастотного сейсмического шума на Камчатке в 2011–2014 гг.

В статье представлены результаты исследования сеймопрогностических свойств мультифрактальных параметров временных рядов низкочастотного шума, зарегистрированного на сети широкополосных сейсмических станций на Камчатке. Основное внимание уделяется особенностям распределения параметров шума в периоды сильных ($M_w \geq 6,9$) местных землетрясений 2013 г.

Введение

Камчатский филиал Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН) и Институт физики Земли РАН (ИФЗ РАН) проводят с 2011 г. работы по созданию новой технологии прогноза сильных землетрясений на Камчатке по данным о вариациях низкочастотных сейсмических шумов (НЧСШ), зарегистрированных на сети широкополосных сейсмических станций (рис. 1, табл. 1).

Исследование сеймопрогностических свойств НЧСШ проводится с использованием методики, разработанной д.ф.-м.н. А. А. Любушиным (ИФЗ РАН) и апробированной на примере сильнейших японских землетрясений 2003–2011 гг. с величинами $M \geq 8$. В основу разрабатываемой технологии прогнозирования сильных землетрясений положены оценки комплекса статистических параметров, характеризующих пространственно-временные вариации поля НЧСШ, и их визуализация в виде набора карт и графиков. Описание алгоритмов получения статистических параметров НЧСШ приводится в [1]. В работах [2, 4, 5] убедительно показана возможность заблаговременного определения районов и времени сильнейших сейсмических событий при использовании многомерных временных рядов регистрации сейсмического шума на сети широкополосных станций и анализа карт распределения мультифрактальных параметров НЧСШ.

В [3] представлены предварительные результаты применения этой методики для изучения прогностических свойств НЧСШ на Камчатке по данным наблюдений за 2,5 года (январь 2011 — июнь 2013 гг.). В настоящей работе рассматриваются особенности изменения поля НЧСШ в 2011–2014 гг. с использованием мультифрактальных параметров НЧСШ: $\Delta\alpha$ — ширины носителя спектра сингулярности и α^* — обобщённого показателя Херста, рассчитываемых по записям шума, полученных на сети станций.

Методика исследований

В качестве источников сейсмических данных использовались записи вертикальных компонент движений грунта на канале ВNZ с частотой оцифровки 100 Гц с 01 января 2011 по 31 декабря 2014 гг., полученные на 20-ти широкополосных сейсмических станциях (рис. 1, табл. 1). Для проведения исследований была создана пополняемая база данных на сервере КФ ГС РАН, включающая непрерывные 1-минутные временные ряды записей по всем станциям [3] и имеющая доступ по локальной сети.

С использованием комплекса программ для анализа мультифрактальных свойств волновых форм НЧСШ (автор А. А. Любушин) были получены ежесуточные оценки параметров $\Delta\alpha$ и α^* и созданы ежесуточные grid-файлы их пространственного распределения за весь период наблюдений.

Построение карт

Пространственно-временное распределение усреднённых статистик НЧСШ на заданном интервале времени является одним из способов визуализации полученных данных.

Для построения карт анализируемая прямоугольная область в диапазоне $50\text{--}64^\circ$ с. ш. и $155\text{--}168^\circ$ в. д. покрывалась равномерной сеткой из 50×50 узлов. На картах отражается распределение статистик по площади, полученное методом интерполяции совокупности медиан параметров от трёх станций, ближайших к каждому узлу.

При усреднении ежедневных карт по всем дням внутри заданного интервала времени, получают усреднённые карты, характеризующие особенности изменения отдельных параметров по пространству за соответствующий интервал времени. Совокупность таких карт для одного и того же интервала времени и их изменчивости позволяет проследить главные особенности поля НЧСШ во време-

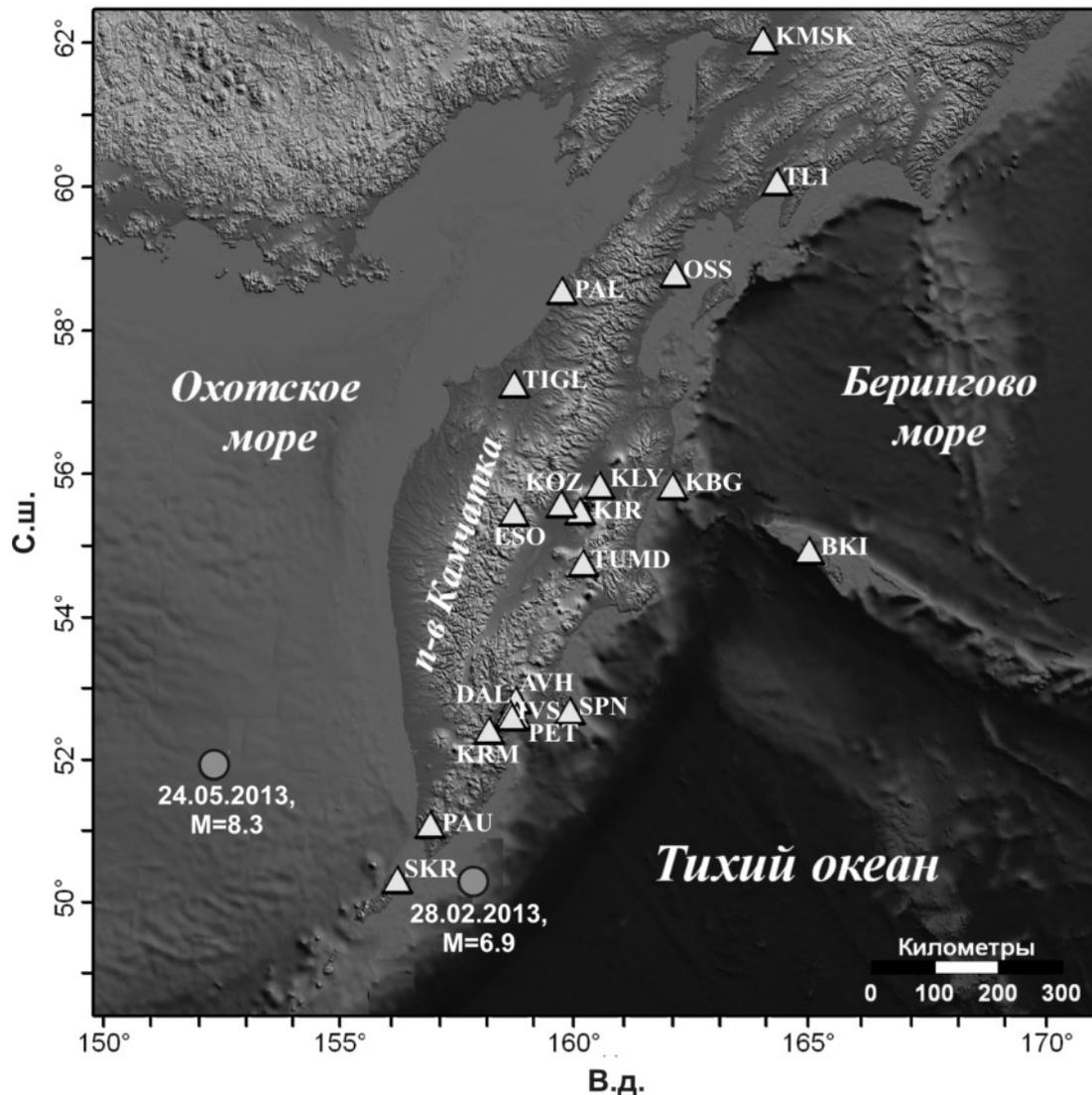


Рис. 1. Схема расположения сейсмических станций (треугольники) и эпицентров сильных землетрясений 2013 г. (кружки). Название сейсмических станций приведено в табл. 1. Номера землетрясений соответствуют номерам в табл. 2.

ни. На рис. 2 представлены карты распределения усредненных параметров для территории Камчатки за четыре года.

Построение графиков

Другим способом оценки динамики изменения статистик поля НЧСШ во времени является построение графиков средних, а также минимальных и максимальных значений параметров, рассчитываемых по усредненным картам за соответствующий интервал времени. Для этого весь период наблюдений разбивался на равные интервалы времени и для каждого такого интервала рассчитывались усредненные карты статистик НЧСШ. Далее в узлах регулярной сетки на каждой такой карте находились минимальные, средние и максимальные значения каждой из статистик шума. Примеры графиков изменения средних величин Δa и a^* приводятся на рис. 3. По таким графикам может даваться

динамическая оценка изменчивости сейсмической опасности на Камчатке.

Результаты

В 2013 г. на Камчатке наблюдалось усиление сейсмической активности, в т. ч. произошли землетрясения 28 февраля с $M = 6,9$ и мантийное Охотоморское землетрясение 24 мая с $M = 8,3$ (рис. 1, табл. 2).

Для анализа поведения параметров a^* и Δa перед сильными событиями 2013 г. были построены усредненные карты их распределения за периоды времени 3 и 6 месяцев. Заключение об особенностях поведения поля НЧСШ на стадиях подготовки землетрясений основывались на сопоставлении полученных карт (рис. 4) с картами за весь период наблюдений, которые рассматривались в качестве фоновой характеристики распределения параметров шума (рис. 2).

Таблица 1. Данные о сеймостанциях, регистрирующей аппаратуре и локальных сейсмогеологических условиях

Сейсмическая станция	Код станции	Координаты		Аппаратура	Частотный диапазон, Гц	Дата начала записи в базе данных	Характеристика грунтовых условий	
		с. ш.	в. д.					
Авача	AVH	53,264	158,740	942	СМG-6TD	0,033–40	01.01.2012	дисперсный уплотнённый (глыбы, щебень, глина)
Беринг	BKI	55,194	165,984	12	СМG-3ТВ	0,0083–40	01.01.2011	дисперсный уплотнённый (глыбы, щебень, дресва)
Дальний	DAL	53,031	158,754	57	СМG-6TD	0,033–40	01.01.2012	скальный, выветрелые сланцы
Институт	IVS	53,066	158,608	160	СМG-3ТВ	0,0083–40	04.03.2011	дисперсный уплотнённый (глыбы, щебень, глина)
Каменская	KMSK	62,467	166,206	40	СМG-6TD	0,033–40	01.01.2011	дисперсный уплотнённый мерзлый (щебень, глина)
Карымшина	KRM	52,828	158,131	100	СМG-3ТВ	0,033–40	16.01.2011	дисперсный уплотнённый (глыбы, щебень, глина)
Киришева	KIR	55,953	160,342	1470	СМG-6TD	0,033–40	01.08.2013	дисперсный уплотнённый мерзлый, пирокласты с обломками лавы
Ключи	KLY	56,317	160,857	35	KS2000	0,01–40	17.02.2011	дисперсный уплотнённый (глыбы, щебень, глина)
Козыревск	KOZ	56,058	159,872	60	СМG-6TD	0,033–40	05.12.2013	дисперсный уплотнённый, песчано-гравийные отложения
Крутоберегово	KBG	56,258	162,713	30	СМG-3ТВ	0,0083–40	01.01.2011	дисперсный уплотнённый (пирокласты)

Окончание таблицы 1. Данные о сейсмостанциях, регистрирующей аппаратуре и локальных сейсмогеологических условиях

Сейсмическая станция	Код станции	Координаты		Аппаратура	Частотный диапазон, Гц	Дата начала записи в базе данных	Характеристика грунтовых условий	
		с. ш.	в. д.					h, м
Оссора	OSS	59,262	163,072	35	SMG-6TD	0,033-40	01 января 2011 г.	дисперсный уплотненный (щебень, глина)
Палана	PAL	59,094	159,968	70	STS-2	0,0083-40	01 января 2011 г.	дисперсный уплотненный (глина)
Паужетка	PAU	51,468	156,815	130	SMG-6TD	0,033-40	01 января 2011 г.	дисперсный уплотненный (глибы, щебень, глина)
Петропавловск	PET	53,023	158,650	100	STS-1	0,0027-10	01 января 2011 г.	скальный (долериты, кремнистые сланцы)
Северо-Курильск	SKR	50,670	156,116	30	SMG-3ТВ	0,0083-40	01 января 2011 г.	дисперсный уплотненный (глибы, щебень, глина)
Тигиль	TIGL	57,765	158,671	115	SMG-6TD	0,033-40	01 марта 2014 г.	дисперсный уплотненный, пески с супесчаным заполнителем
Тиличики	TL1	60,446	166,145	25	SMG-3ТВ	0,0083-40	01 января 2011 г.	дисперсный уплотненный мерзлый (щебень, глина)
Тумрокиссточники	TUMD	55,203	160,399	478	SMG-6TD	0,033-40	01 января 2012 г.	дисперсный уплотненный (глибы, щебень, глина)
Шипунский	SPN	55,106	160,011	95	SMG-6TD	0,033-40	01 января 2012 г.	дисперсный уплотненный (глибы, щебень, глина)
Эссо	ESO	55,932	158,695	490	SMG-6TD	0,033-40	01 января 2011 г.	дисперсный уплотненный (глибы, щебень, глина)

Таблица 2. Данные о землетрясениях с $M_w \geq 6,9$ (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes>)

Номер землетрясения	Дата	Время	Координаты		Глубина, км	Магнитуда, M_w
			дд.мм.гггг	град., с. ш.		
1	28.02.2013	14:05:50	50,942	157,339	41	6,9
2	24.05.2013	05:44:49	54,874	153,281	609	8,3

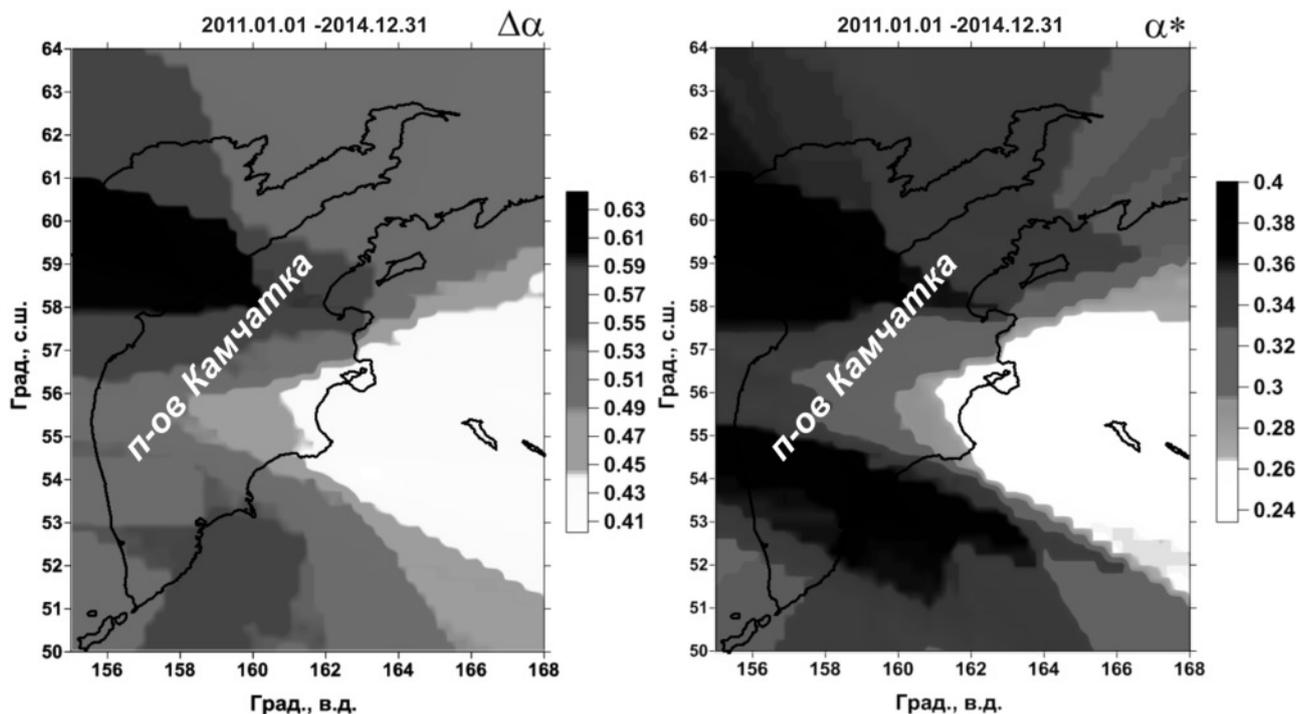


Рис. 2. Карты распределения мульти-фрактальных параметров низкочастотного шума на Камчатке, зарегистрированного на сети сейсмических станций, ширины носителя спектра сингулярности $\Delta\alpha$ (слева) и обобщенного показателя Херста α^* (справа) за период наблюдений с 1 января 2011 г. по 31 декабря 2014 г.

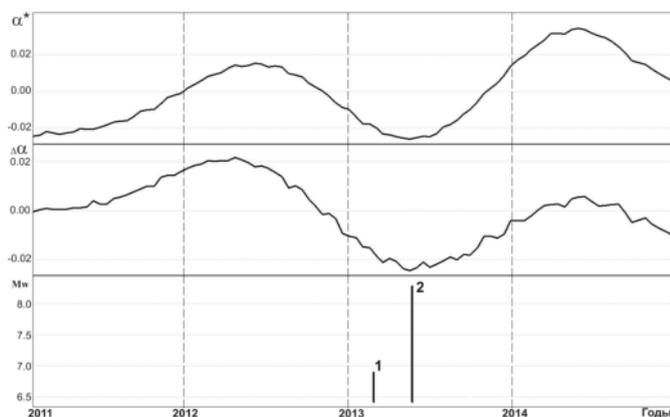


Рис. 3. Изменения среднего значения обобщенного показателя Херста α^* и ширины носителя спектра сингулярности $\Delta\alpha$, вычисленных для усредненных ежесуточных карт в скользящем временном окне 30 суток (1 месяц) с шагом 15 суток в 2011–2014 гг. в сопоставлении с произошедшими землетрясениями (табл. 2).

При анализе карт и графиков предполагалось, что понижение величин $\Delta\alpha$ и α^* указывает на повышение сейсмической опасности и угрозу возникновения сильного землетрясения с M не менее 7,0–7,5. Физические принципы, лежащие в основе использования критериев минимальных величин $\Delta\alpha$ и α^* для выделения сейсмически опасных регионов, основаны на предположении о консолидации

малых блоков земной коры в структуру больших размеров, формирующую очаг будущего сильного землетрясения. Низкие значения $\Delta\alpha$ и α^* могут быть обусловлены большим числом низкочастотных выбросов, которые можно связать с взаимными движениями неконсолидированных малых блоков земной коры. Тогда высокие их значения можно связывать с повышенной консолидацией малых блоков земной коры и, как следствие этого, малым числом высокоамплитудных вариаций сейсмического шума. Формирование крупного консолидированного блока сопровождается потерей разнообразия передаточных и резонансных свойств среды, что сопровождается потерей мультифрактальности временных рядов НЧСШ и уменьшением параметров $\Delta\alpha$ и α .

Для оценки динамики изменения мульти-фрактальных параметров α^* и $\Delta\alpha$ во времени были построены графики изменения максимальных, минимальных и средних значений рассматриваемых параметров, вычисленных для усредненных ежесуточных карт в скользящих временных окнах 30 суток (1 месяц) и 90 суток (3 месяца) с шагом 15 суток и 30 суток соответственно. Из графиков следует, что в поведении временных рядов наблюдается понижение средних значений α^* и $\Delta\alpha$ перед сильными землетрясениями. Это подтверждается также построением усредненных карт распределения параметров, на которых также выделяются области пониженных значений α^* и $\Delta\alpha$, предшествующие землетрясениям. На карте распределения

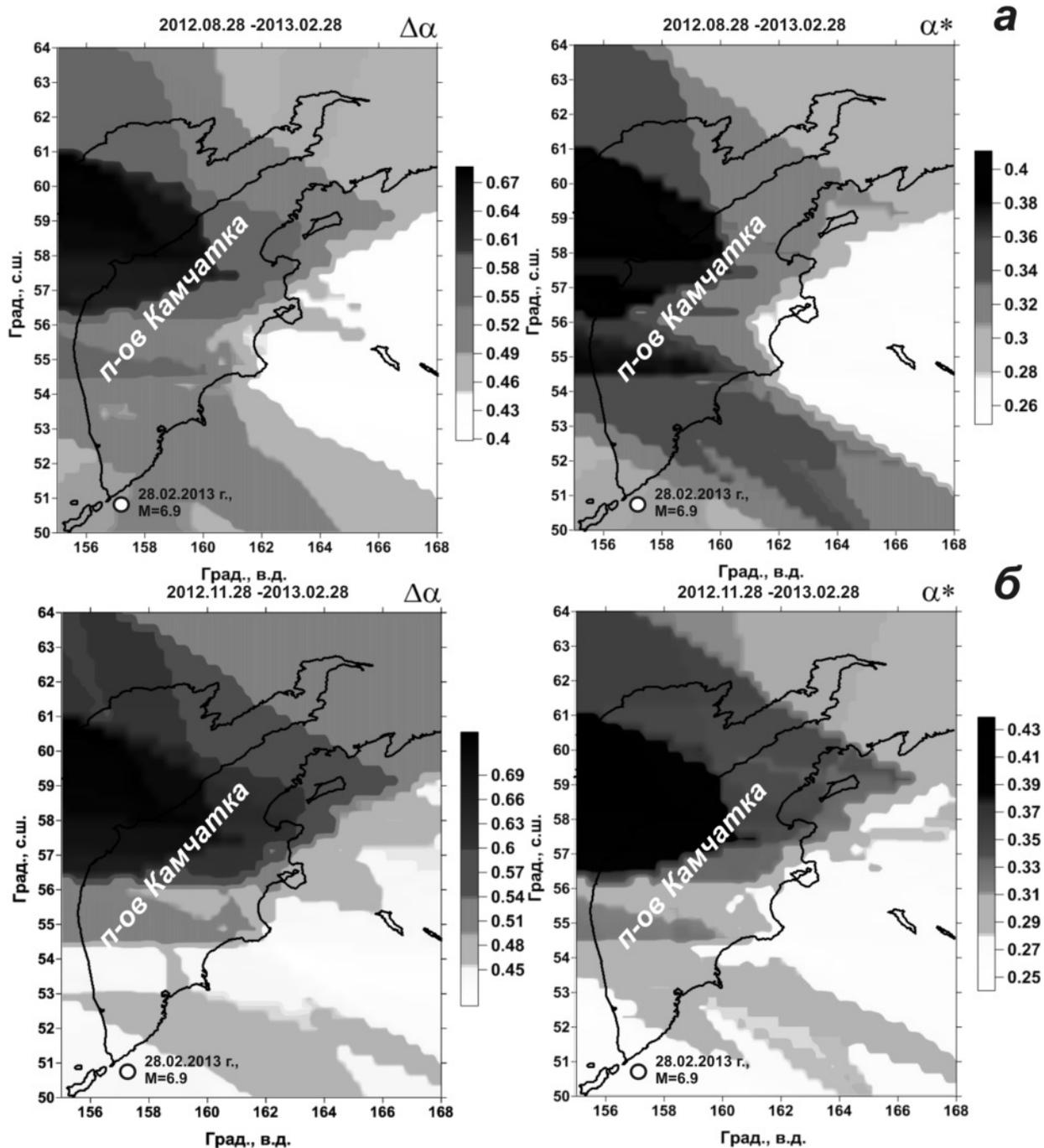


Рис. 4. Карты распределения мульти-фрактальных параметров — ширины носителя спектра сингулярности $\Delta\alpha$ (слева) и обобщенного показателя Херста α^* (справа), за полугодовой период (а) и за 3 месяца (б) до землетрясения 28 февраля 2013 г., $M_w = 6,9$.

параметров за полгода и три месяца до землетрясения 28 марта 2013 г. (рис. 4) область пониженных значений α^* и $\Delta\alpha$ чётко выделяется в районе юга Камчатки и о-ва Парамушир.

Выполненный анализ пространственно-временного распределения параметров α^* и $\Delta\alpha$ показывает, что характер их изменений перед сильными землетрясениями соответствует выдвинутой ранее в [1–2, 4–5] гипотезе и модельным представлениям о проявлении процессов подготовки сильных зем-

летрясений в вариациях поля НЧСШ. Результаты выполненного анализа указывают на информативность статистик α^* и $\Delta\alpha$ для их использования в сейсмпрогностических целях и на перспективность общего подхода к изучению вариаций НЧСШ в рамках разрабатываемой технологии оценки сейсмической опасности и прогноза сильных землетрясений на Камчатке.

Также следует отметить, что по данным наблюдений 2011–2014 гг. выделяется центральная часть

Камчатской сейсмофокальной зоны в диапазоне широт $55\text{--}58^\circ$ с. ш. (рис. 2) по пониженным величинам α^* и $\Delta\alpha$ как наиболее опасная для возникновения одного или нескольких сильных землетрясений с $M \geq 7,5\text{--}8,0$.

Работа выполняется при поддержке РФФИ, грант № 15-05-00 414, научный руководитель А.А. Любушин.

Список литературы

1. Любушин А. А. Анализ когерентности глобального сейсмического шума, 1997–2012 // Физика Земли. 2014. № 3. С. 18–27.
2. Любушин А. А. Карты свойств низкочастотных микросейсм для оценки сейсмической опасности // Физика Земли. 2013. № 1. С. 11–20.
3. Любушин А. А., Копылова Г. Н., Касимова В. А., Таранова Л. Н. Мульти-фрактальные характеристики сейсмического шума на Камчатке, 2011–2013 гг. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Тр. Четвертой научно-техн. конф. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 382–386.
4. Любушин А. А. Прогноз Великого Японского землетрясения // Природа. 2012. № 8. С. 23–33.
5. Любушин А. А. Сейсмическая катастрофа в Японии 11 марта 2011 г. Долгосрочный прогноз по низкочастотным микросейсам // Геофизические процессы и биосфера. 2011. Том. 10. № 1. С. 9–35.