

ОСОБЕННОСТИ ПОЛЯ ФОНОВОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА НА КАМЧАТКЕ В 2011-2015 ГГ.

Любушин А.А.¹, Копылова Г.Н.², Касимова В.А.², Таранова Л.Н.²

¹Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, e-mail: lyubushin@yandex.ru

²Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, e-mail: gala@emsd.ru, vika@emsd.ru

Введение

В работе представлены результаты совместных исследований Камчатского филиала Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский (КФ ГС РАН) и Института физики Земли РАН, г. Москва (ИФЗ РАН) по созданию новой сейсмопрогностической технологии с использованием временных рядов низкочастотного сейсмического шума с дискретизацией 1 минута, записанного на сети широкополосных сейсмических станций на территории Камчатки (рис. 1).

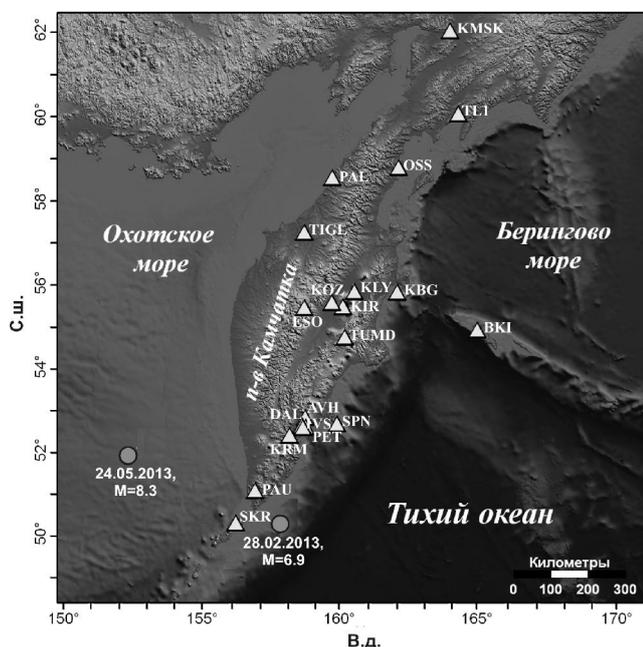
Исследование сейсмопрогностических свойств низкочастотного (фоновый) шума проводится с использованием методики, разработанной А.А. Любушиным и апробированной на примере сильнейших японских землетрясений 2003-2011 гг. с величинами магнитуд M порядка 8-9. В работах [2, 5, 6] убедительно показана возможность осуществления заблаговременной выдачи среднесрочных прогнозов времени и места возникновения таких событий по данным, получаемым на сети широкополосных сейсмических станций F-net в Японии, с временем упреждения не более месяцев - первых лет. В указанных работах показано, что результаты статистического анализа параметров многомерных временных рядов низкочастотного шума могут использоваться для динамической оценки опасности возникновения сильного землетрясения в реальном времени. Построение карт распределения статистических параметров фонового сейсмического шума по пространству, таких как $\Delta\alpha$ - ширины носителя спектра сингулярности, α^* - обобщенного показателя Херста, β - вейвлетной спектральной экспоненты, En - минимальной нормализованной энтропии вейвлет-коэффициентов шума, в скользящем временном окне позволяет наглядно визуализировать динамику зарождения и развития областей повышенной сейсмической опасности.

В настоящей работе рассматриваются особенности поля фонового сейсмического шума на Камчатке в период времени 2011-2015 гг. Особое внимание уделяется его изменениям в периоды сильных ($M \geq 6.0$) местных землетрясений.

Оценка изменчивости поля фонового сейсмического шума производилась с помощью набора карт, характеризующих пространственно-временное распределение статистик шума, и графиков изменения их минимальных, средних и максимальных значений, оцениваемых по всем станциям в заданных временных окнах различной длины. Описание алгоритмов получения статистических параметров, рассчитываемых по записям шума, полученных на сети станций, приводится в [1, 3, 4, 7].

По данным наблюдений 2011-2015 гг. выделена центральная часть Камчатской сейсмофокальной зоны в диапазоне широт 55 - 58° с. ш. как наиболее опасная для возникновения сильнейших землетрясений.

Рис. 1. Схема расположения сейсмических станций (треугольники) и эпицентров сильных землетрясений, произошедших в 2013 г. (кружки) (табл.).



Методика исследований

На территории Камчатского края и о-ва Парамушир имеется сеть цифровых широкополосных сейсмических станций, данные с которых в режиме реального времени поступают в Информационно-обрабатывающий центр КФ ГС РАН. В качестве источников сейсмических данных использовались записи вертикальных компонент движений грунта на канале ВНЗ с частотой оцифровки 100 Гц (за исключением

станции РЕТ, для которой частота оцифровки равна 20 Гц) с 01 января 2011 по 30 июня 2015 гг., полученные на сети, состоящей из 21-ой широкополосных сейсмических станций Геофизической службы РАН (рис. 1).

Для создания 1-минутных временных рядов сейсмического шума, зарегистрированного на каждой станции, вычислялись средние значения исходных записей в последовательных интервалах времени длиной 6000 отсчетов. Получаемые 1-минутные временные ряды по всем станциям хранятся в пополняемой базе данных на сервере КФ ГС РАН с доступом по локальной сети.

Оценки статистик поля фонового сейсмического шума производились в последовательных интервалах времени длиной 1440 отсчетов или 1 сутки для 1-минутных временных рядов по каждой станции после удаления низкочастотных трендов полиномом 8-го порядка для подавления влияния приливных и термических деформаций земной коры на вариации шума.

Использовались два способа визуализации данных: 1 - в форме карт пространственно-временного распределения усредненных статистик временных рядов сейсмического шума на заданном интервале времени (рис. 2); 2 - в виде графиков минимальных, средних и максимальных значений статистик шума, оцениваемых во временном окне длиной не менее одного месяца с заданным шагом по времени (рис. 3).

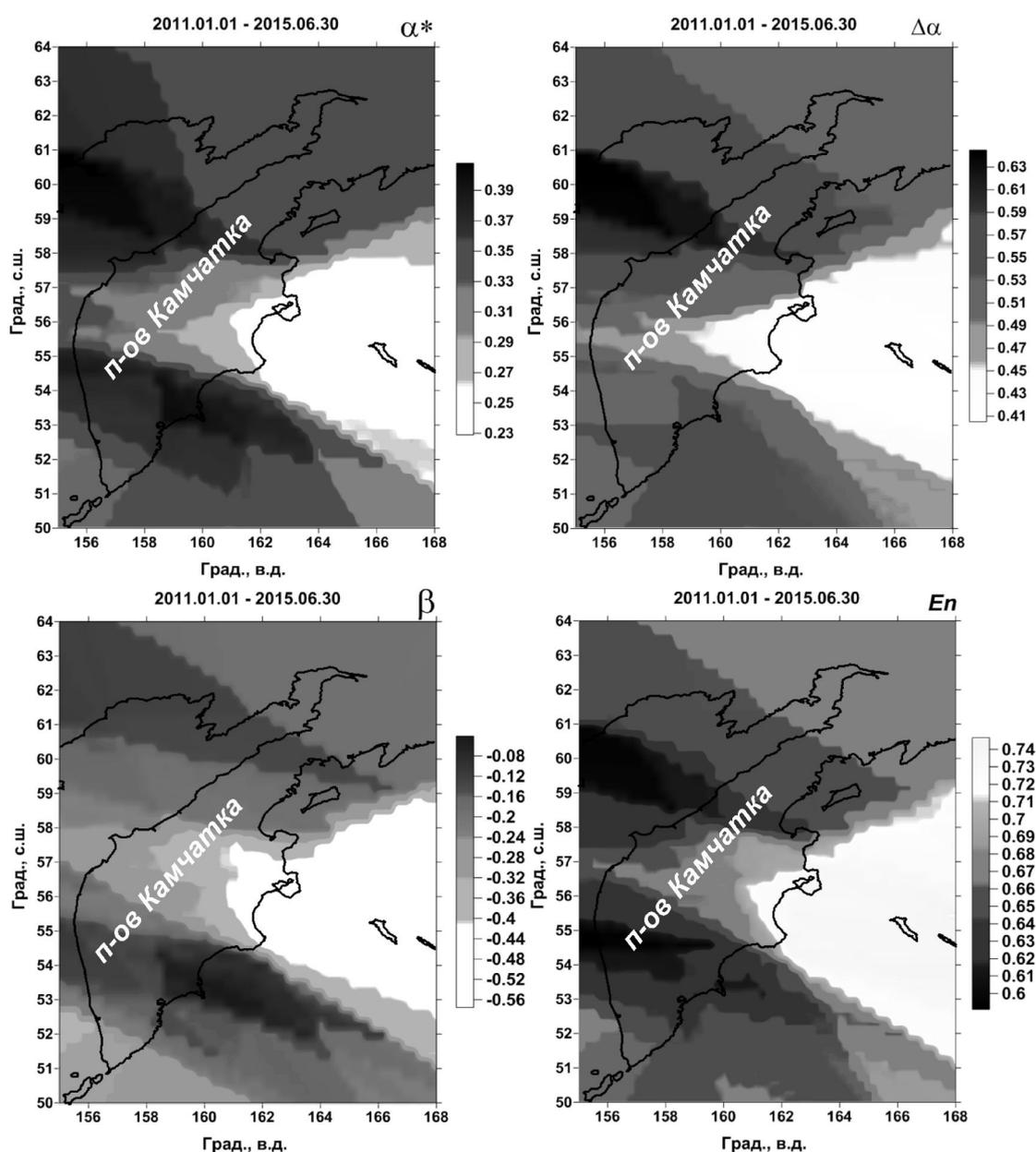


Рис. 2. Карты распределения параметров поля фонового сейсмического шума α^* , $\Delta\alpha$, En , β за период наблюдений с 01.01.2011 по 30.06.2015 гг.

Для построения карт анализируемая прямоугольная область в диапазоне 50 - 64° с. ш. и 155 - 168° в. д., включающая в себя все станции (рис. 1), покрывалась равномерной сеткой из 50×50 узлов. На картах отражается распределение статистик по площади, полученное методом интерполяции совокупности медиан параметров от трех станций ближайших к каждому узлу. При усреднении ежедневных карт по всем дням внутри заданного интервала времени, получают усредненные карты, характеризующие особенности изменения отдельных параметров по пространству за соответствующий интервал времени. Анализ совокупности таких карт для одного и того же интервала времени и их изменчивости позволяет проследить главные особенности фонового поля сейсмического шума для территории Камчатки. На рис. 2, в качестве примера, приведены карты распределения параметров поля фонового сейсмического шума α^* , $\Delta\alpha$, β и En , усредненные за все время наблюдений (4.5 года). На этих картах по пониженным значениям $\Delta\alpha$ выделяется акватория Тихого океана как сейсмически опасная область, что соответствует распределению очагов землетрясений в зоне субдукции Тихоокеанской океанической плиты под Охотоморскую плиту континентального типа. При этом внутренние районы центральной Камчатки, с точки зрения используемых критериев, является относительно «безопасными». Если следовать изложенной выше гипотезе о связи параметров низкочастотного шума с подготовкой сильнейших землетрясений, то наиболее «опасными» регионами в относительно долгосрочной перспективе являются районы тихоокеанского побережья и Берингова моря в диапазоне широт 55 - 58°, который находится севернее эпицентра Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г., $M=7.8$.

Для оценки динамики изменения во времени фонового поля шумов, зарегистрированных на сети сейсмических станций, использовалось построение графиков средних величин статистических параметров, а также минимальных и максимальных их значений, оцениваемых по усредненным картам за соответствующие интервалы времени. Для этого весь период наблюдений разбивался на равные интервалы времени и для каждого такого интервала рассчитывались усредненные карты статистик временных рядов шума. Далее в узлах регулярной сетки на каждой такой карте находились минимальные, средние и максимальные значения каждой из статистик шума. Примеры графиков изменения средних величин $\Delta\alpha$ и α^* приводятся на рис. 3. По таким графикам может даваться динамическая оценка изменчивости сейсмической опасности на Камчатке.

При анализе карт и графиков предполагалось, что уменьшение величин $\Delta\alpha$, α^* , β и рост величин минимальной нормализованной энтропии вейвлет-коэффициентов шума En указывают на повышение сейсмической опасности и угрозу возникновению сильного землетрясения с M не менее 7.0 – 7.5. Физические принципы, лежащие в основе использования критериев минимальных величин $\Delta\alpha$, α^* , β и максимальных величин En 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. Высокие значения En можно связывать с повышенной консолидацией малых блоков земной коры и, как следствие этого, малым числом высокоамплитудных вариаций сейсмического шума [4]. Формирование крупного консолидированного блока сопровождается уменьшением разнообразия передаточных и резонансных свойств среды, что сопровождается потерей мульти-фрактальности временных рядов сейсмического шума и уменьшением параметров $\Delta\alpha$ и α^* .

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, таблица).

Таблица. Данные о землетрясениях с $M_w \geq 6.9$ (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes>)

Номер землетрясения	Дата дд.мм.гггг	Время чч:мм:сс	Координаты		Глубина, км	Магнитуда, M_w
			град., с.ш.	град., в.д.		
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

Для анализа поведения статистических параметров низкочастотного шума α^* , $\Delta\alpha$, En , β перед сильными событиями 2013 г. были построены усредненные карты их распределения за периоды времени 3 и 6 месяцев. Заключение об особенностях поведения фоновое поля низкочастотного шума 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).

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. На рис. 3 приводятся графики их средних значений. Из них 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 параметров за три месяца до землетрясения 28 марта 2013 г. (рис. 4) область пониженных значений α^* и $\Delta\alpha$ четко выделяется в районе юга Камчатки и о-ва Парамушир.

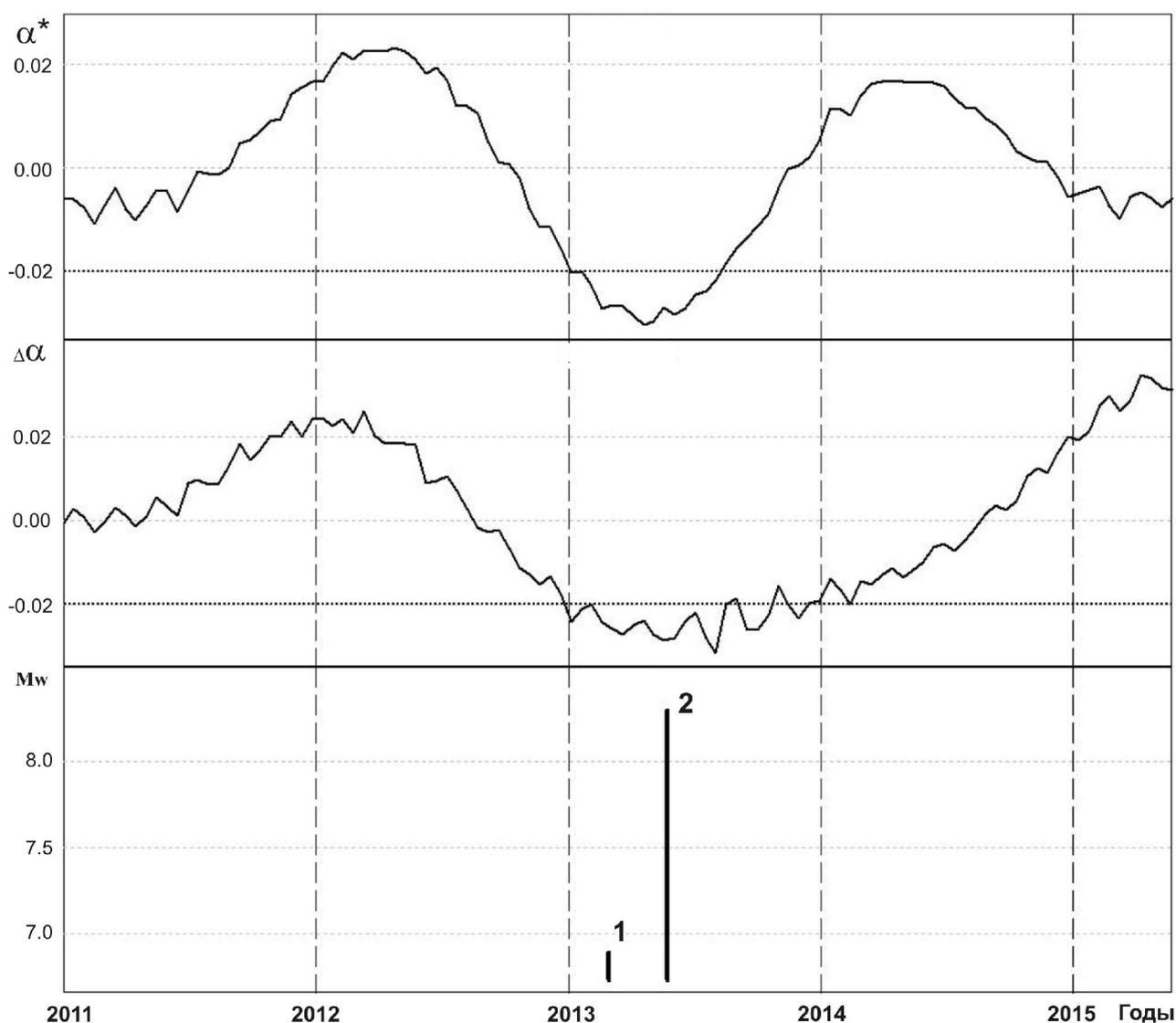


Рис. 3. Изменения среднего значения обобщенного показателя Херста α^* и ширины носителя спектра сингулярности $\Delta\alpha$, вычисленных для усредненных ежесуточных карт в скользящем временном окне 30 суток (1 месяц) с шагом 15 суток в 2011 – 2015 гг. в сопоставлении с произошедшими землетрясениями (табл.).

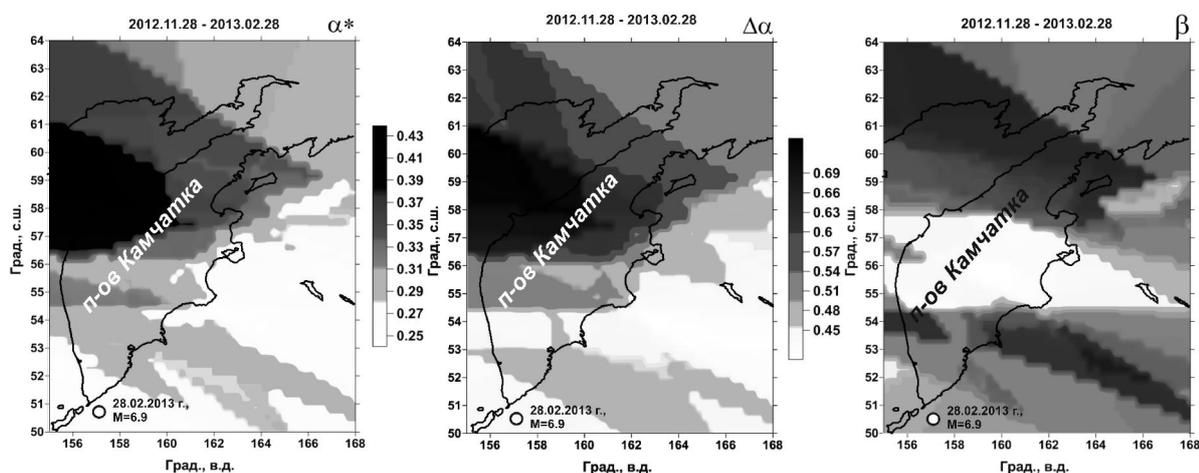


Рис. 4. Карты распределения параметров низкочастотного шума α^* , $\Delta\alpha$, β за 3 месяца до землетрясения 28.02.2013 г. (табл.)

Выполненный анализ пространственно-временного распределения параметров α^* , $\Delta\alpha$, E_n , β показывает, что характер их изменений соответствует модельным представлениям о проявлении процессов подготовки сильных землетрясений в вариациях поля низкочастотного шума, зарегистрированного на сети широкополосных сейсмических станций.

В течение примерно одного года до возникновения на Камчатке двух наиболее сильных землетрясений с $M=6.9$ и $M=8.3$ (табл.) наблюдалось понижение величин мульти-фрактальных параметров α^* и $\Delta\alpha$ (рис. 3). Это позволяет нам рекомендовать наблюдения за изменчивостью этих параметров в целях среднесрочного прогноза сильных землетрясений на Камчатке и указывает на перспективность общего подхода к изучению вариаций низкочастотного шума в рамках разрабатываемой технологии оценки сейсмической опасности и прогноза сильных землетрясений.

По данным наблюдений 2011–2015 гг. выделена центральная часть Камчатской сейсмофокальной зоны в диапазоне широт $53 - 58^\circ$ с. ш. (рис. 2) как наиболее опасная область для возникновения одного или нескольких землетрясений с $M \geq 7.5-8.0$.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 15-05-00414, 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., Копылова Г.Н., Касимова В.А., Таранова Л.Н. О свойствах поля низкочастотных шумов, зарегистрированных на Камчатской сети широкополосных сейсмических станций // Вестник КРАУНЦ. Серия 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. Любушин А.А. Сейсмическая катастрофа в Японии 11 марта 2011 года. Долгосрочный прогноз по низкочастотным микросейсмам // Геофизические процессы и биосфера. 2011. Т. 10. № 1. С. 9-35.
7. Любушин А.А. Тренды и ритмы синхронизации мультифрактальных параметров поля низкочастотных микросейсм // Физика Земли. 2009. № 5. С.15-28.