

УДК 550.34

ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ  
НИЗКОЧАСТОТНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА  
НА ШИРОКОПОЛОСНЫХ СТАНЦИЯХ КАМЧАТКИ  
(ПО ДАННЫМ 2011-2013 гг.)

*Касимова В.А.*

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН*

*Научный руководитель: д.г.-м.н. Копылова Г.Н.*

На основе спектрального анализа временных рядов 1-минутных и среднечасовых сейсмических записей на канале ВНЗ на четырех станциях Камчатки обнаружена устойчивость спектральной структуры шума в течение различных сезонов года и за период времени до двух лет. В спектрах мощности 1-минутных временных рядов отмечается повышенный уровень интенсивности микросейсм для прибрежных станций по сравнению с континентальной станцией. Наблюдается повышенный уровень шума в первых половинах календарного года в диапазоне периодов от 2 до ~14 минут. На прибрежных станциях фиксируются сезонные изменения уровня шума, повышенные амплитуды шума отмечаются в первой половине года, особенно весной. В спектрах мощности среднечасовых временных рядов для прибрежных станций, наряду с суточной и полусуточной компонентами с периодами 24 и 12 ч, отмечаются спектральные максимумы на периодах приливных волн О1 и М2.

## ВВЕДЕНИЕ

Микросейсм (сейсмический шум) представляют собой непрерывные малоамплитудные колебания земной поверхности, которые возникают, в основном, за счет воздействия атмосферных и океанических процессов на земную кору. Интенсивность микросейсм может быть различной на разных станциях в зависимости от их местоположения, грунтовых условий, особенностей сезонных и суточных вариаций. Кроме пространственной и временной неравномерности, микросейсм также характеризуются неравномерностью распределения интенсивности в зависимости от частоты, что обусловлено локальными различиями комплекса вызывающих их причин [5, 10].

В последнее время микросейсм используются не только для классификации сейсмических станций в зависимости от уровня естественных и

техногенных шумов, но и в задачах предсказания землетрясений, в сейсмической томографии, а также для оценки реакции геологической среды на изменение геодинамической обстановки.

Степень изученности микросейсмического шума в различных диапазонах частот не одинакова. Микросейсмический шум в частотном диапазоне от 1 до 300 минут является наименее изученным, однако в [5] рассматривается как наиболее информативный для сейсмопрогностических целей. Этот низкочастотный диапазон микросейсмического шума находится на стыке между низкочастотной сейсмологией и исследованием медленных геофизических процессов. В нем содержатся колебания, индуцированные атмосферными и океаническими процессами, а также различными модами собственных колебаний Земли, которые возбуждаются после сильнейших землетрясений [6].

В работах д. ф.-м. н. А.А. Любушиным, Институт физики Земли РАН, г. Москва (ИФЗ РАН) [5, 8 и др.] с использованием оригинальной технологии, показана возможность использования записей на сети широкополосных сейсмических станций для определения районов и времени возникновения сильнейших землетрясений. Диапазон периодов вариаций шума от 2 до первых сотен минут рассматривался в качестве наиболее информативного для сейсмопрогностических целей. В соответствии с типичным видом спектра сейсмического шума [10-11] в этом диапазоне периодов наблюдается монотонное увеличение интенсивности шума с уменьшением частоты.

С 2012 г., совместно Камчатским филиалом Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН) и ИФЗ РАН, проводятся работы по адаптации этой технологии с использованием записей на сети из 17-ти широкополосных станций Геофизической службы РАН в районах Камчатки и о-ва Парамушир (рис. 1).

Цель работы заключается в оценке влияния местоположения (прибрежная или континентальная), времени года, регистрирующей аппарату-

ры и других факторов на вариации 1-минутных временных рядов записей на канале ВНЗ на широкополосных станциях Камчатки с использованием спектрального анализа.

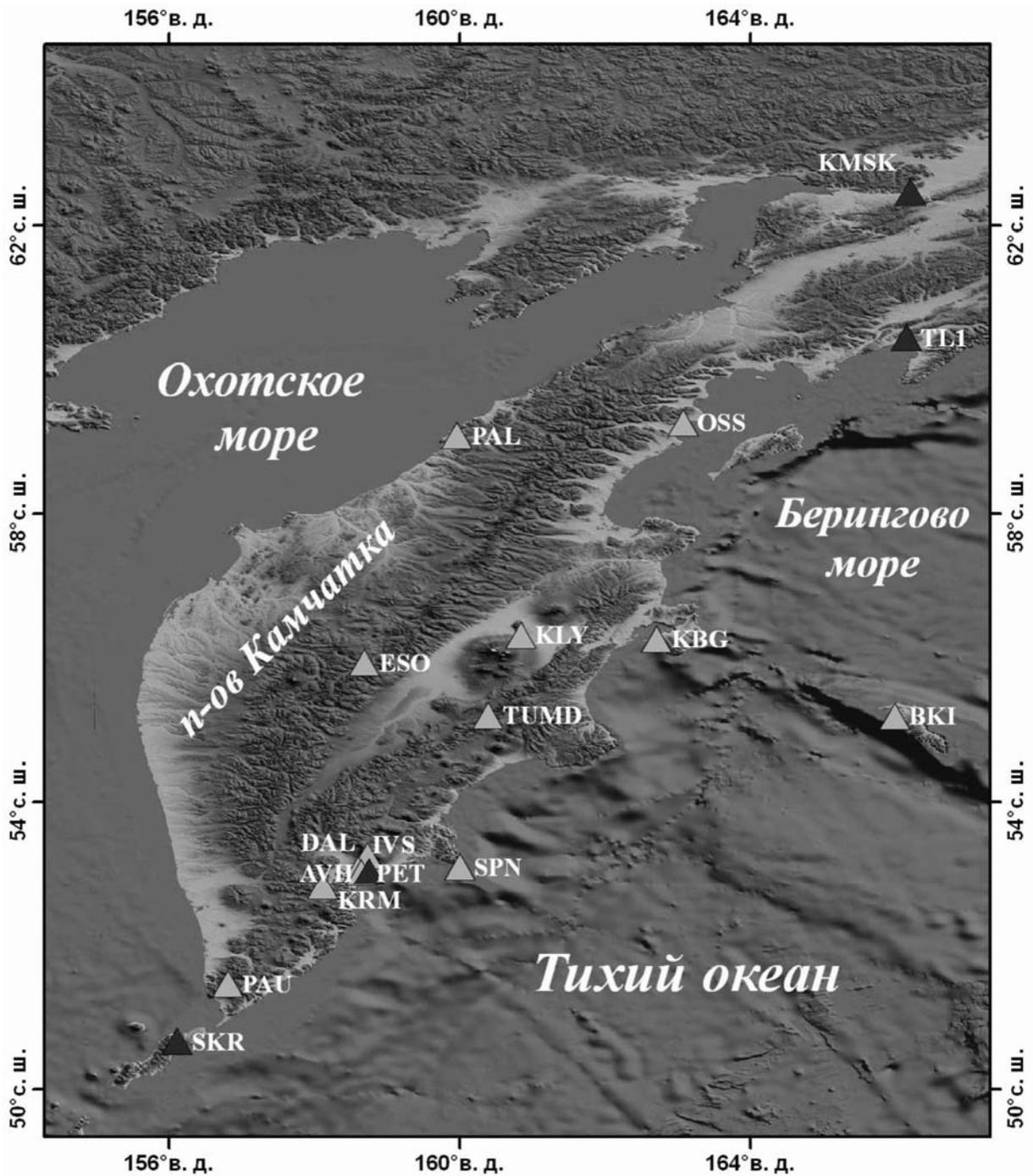


Рис. 1. Карта расположения широкополосных сейсмических станций Камчатской сети.

В качестве исходных данных использовались сейсмические записи на канале ВНЗ с частотой оцифровки 100 Гц с 01 января 2011 по 31 авгу-

ста 2013 гг. на четырех широкополосных станциях Камчатской сети (таблица, рис. 1): Каменская (KMSK), Петропавловск (PET), Тилички (TL1) и Северо-Курильск (SKR), оборудованных сейсмоприемниками CMG-3TB (частотный диапазон 0.0083-40 Гц), CMG-6TD (0.033-40 Гц), STS-1 (0.0027-10 Гц).

При выполнении этой работы были созданы временные ряды сейсмических записей с дискретизацией 1 минута [1-2, 7]. Далее в настоящей работе будем называть такие ряды 1-минутными рядами.

Таблица. Характеристика сейсмических станций и аппаратуры

Станция	Код станции		Координаты, град		h, м	Аппаратура	Частотный диапазон, Гц	Грунт
	рег.	межд.	с.ш.	в.д.				
Каменская	KM1	KMSK	62.4669	166.2055	45	CMG6TD	0.033-40	дисперсный уплотненный мерзлый (щебень, глина)
Петропавловск	PET	PET	53.0233	158.6499	100	STS-1	0.0027-10	скальный (долериты, кремнистые сланцы)
Северо-Курильск	SKR	SKR	50.6704	156.1158	30	CMG3TB	0.0083-40	дисперсный уплотненный (глыбы, щебень, глина)
Тилички	TL1	TILK	60.4460	166.1450	25	CMG3TB	0.0083-40	дисперсный уплотненный мерзлый (щебень, глина)

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для создания 1-минутных временных рядов исходных данных использовался комплекс программ, предоставленных д. ф. – м. н. А.А. Любушиным, с помощью которых сейсмические записи в формате mseed преобразовывались в формат данных ascii, выполнялось их прореживание в 1200 раз и переход к 12-секундным данным. Далее после усреднения и прореживания 12-секундных данных осуществлялся переход к интервалу дискретизации 1 минута [1, 8].

1-минутные временные ряды шума в относительных величинах амплитуды предварительно пересчитывались в значения скорости с учетом

чувствительности канала ВНЗ для каждой станции. Затем с использованием программы *Diagnos* [3-4] для каждой станции были созданы 1-минутные временные ряды длиной от трех месяцев до двух лет, в т. ч. временные ряды длиной 2 года с 01.01.2011 по 31.12.2012 гг.; длиной 1 год с 01.01.2011 по 31.12.2011 гг. и с 01.01.2012 по 31.12.2012 гг.; длиной полгода с 1 января по 30 июня и с 1 июля по 31 декабря для 2011 - 2013 гг.; длиной 3 месяца: декабрь – февраль (зима), март – май (весна), июнь-август (лето) и сентябрь – ноябрь (осень) за 2011 - 2013 гг.

С помощью программы разведочного анализа свойств временных рядов *Spectra\_Analyzer*, (автор А. А. Любушин) выполнялась процедура устранения больших выбросов (винзоризация) в 1-минутных временных рядах (рис. 2), которая осуществлялась путем вычисления среднего значения ряда  $\bar{x}$ , его стандартного отклонения  $\sigma$ , операции срезки значений ряда, превышающих уровень  $\bar{x} \pm 4\sigma$  и повторения такой последовательности операций до тех пор, пока значения  $\bar{x}$  и  $\sigma$  не перестанут меняться [7]. Процедура винзоризации выполнялась для того, чтобы убрать большие выбросы технического характера (калибровки, сбои аппаратуры) и связанные с прохождением поверхностных волн от сильнейших землетрясений, в т. ч. от землетрясения Тохоку 11.03.2011 г.,  $M_w = 9.1$ ; землетрясений в районе о-ва Суматра 11.04.2012 г.,  $M_w = 8.7$  и  $M_w = 8.2$ ; глубокого Охотоморского землетрясения 24.05.2013 г.,  $M_w = 8.3$  (рис. 2 а).

Из полученных «винзоризованных» 1-минутных рядов также были построены среднечасовые и среднесуточные временные ряды путем усреднения значений исходного ряда в окнах длиной 60 и 1440 значений (рис. 2). Затем из полученных 1-минутных, среднечасовых и среднесуточных рядов строились спектры мощности с использованием AR-модели (метод максимальной энтропии) [7].

При построении спектров выбор скользящего временного окна и порядка авторегрессии производились с учетом длины временного ряда и не-

обходимости получения достаточной детальности спектра. Для 1-минутных временных рядов скользящее временное окно составляло 2048 отсчетов, для среднечасовых - 720 отсчетов, для суточных - 180 и 92 отсчетов.

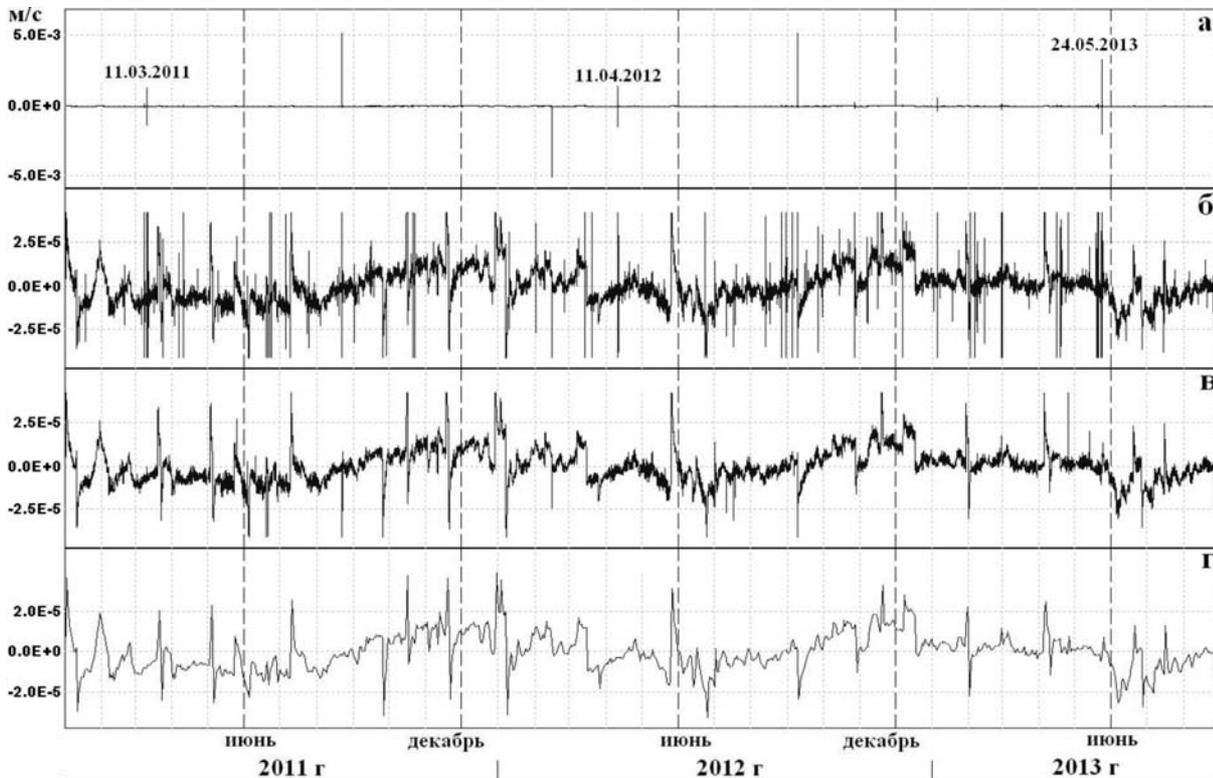


Рис. 2. Преобразование 1-минутного временного ряда данных регистрации на канале ВNZ на с/ст. Петропавловск (РЕТ): а – 1-минутный временной ряд с учетом чувствительности регистрирующего канала ВNZ; б – 1-минутный ряд после устранения больших выбросов (винзоризации); в – среднечасовой ряд; г – среднесуточный ряд.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В спектрах мощности 1-минутных временных рядов продолжительностью 1 и 2 год в диапазоне периодов от 10-20 до 1000 минут наблюдается монотонное увеличение амплитуд спектральных гармоник для всех четырех рассматриваемых станций (рис. 3), что согласуется с поведением спектральных кривых типичного спектра сейсмического шума [10, 11].

На станциях TL1, KMSK и SKR наблюдается уменьшение амплитуд спектральных составляющих в диапазоне периодов от 2 до примерно 15 мин. (рис. 3). Общие закономерности вида спектров сейсмического шу-

ма на этих трех станциях могут характеризовать близкие локальные сейсмогеологические условия в районах их расположения (дисперсный уплотненный грунт, табл.).

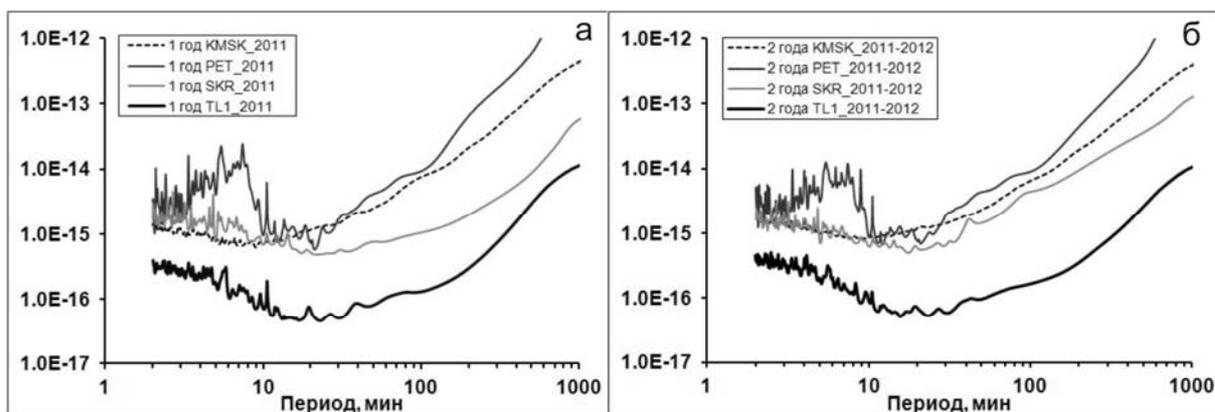


Рис. 3. Спектры мощности 1-минутных рядов записей на канале BHZ на сейсмических станциях PET, KMSK, SKR, TL1 при их длине 1 год (а) и 2 года (б)

На с/ст. PET в диапазоне периодов 2 - 10 мин. происходит увеличение амплитуд спектральных составляющих, что может быть связано с техногенной зашумленностью записей вследствие расположения станции в черте г. Петропавловска-Камчатского и локальными сейсмогеологическими условиями (скальный грунт).

Известно, что штормовые микросейсмы затухают при распространении вглубь континента, и в спектрах мощности сейсмического шума на континентальных станциях они практически отсутствуют [9, 10]. Эффект относительного уменьшения амплитуд сейсмического шума, по сравнению с прибрежными станциями PET и SKR, наблюдается в высокочастотной области спектров на континентальной сеймостанции KMSK и на станции TL1, расположенной на берегу залива Корфа, Берингово море.

Спектры 1-минутных временных рядов на станциях SKR и TL1 имеют схожий внешний вид при некотором отличии в амплитудах (на с/ст. SKR амплитуды шума больше). Однотипный вид спектров может быть обусловлен тем, что обе станции находятся недалеко от береговой

линии (прибрежные) и на них установлена одинаковая сейсмометрическая аппаратура (табл.).

В спектрах мощности, рассчитанных по 1-минутным временным рядам длиной полгода на с/ст. РЕТ (рис. 4), также как и в спектрах, построенных для рядов продолжительностью 1 и 2 года (рис. 3), в диапазоне периодов 2 - 10 минут наблюдается повышение интенсивности вариаций. С увеличением периодов до ~30 - 40 минут происходит понижение интенсивности вариаций и наблюдается монотонное увеличение амплитуд на периодах более 40 минут.

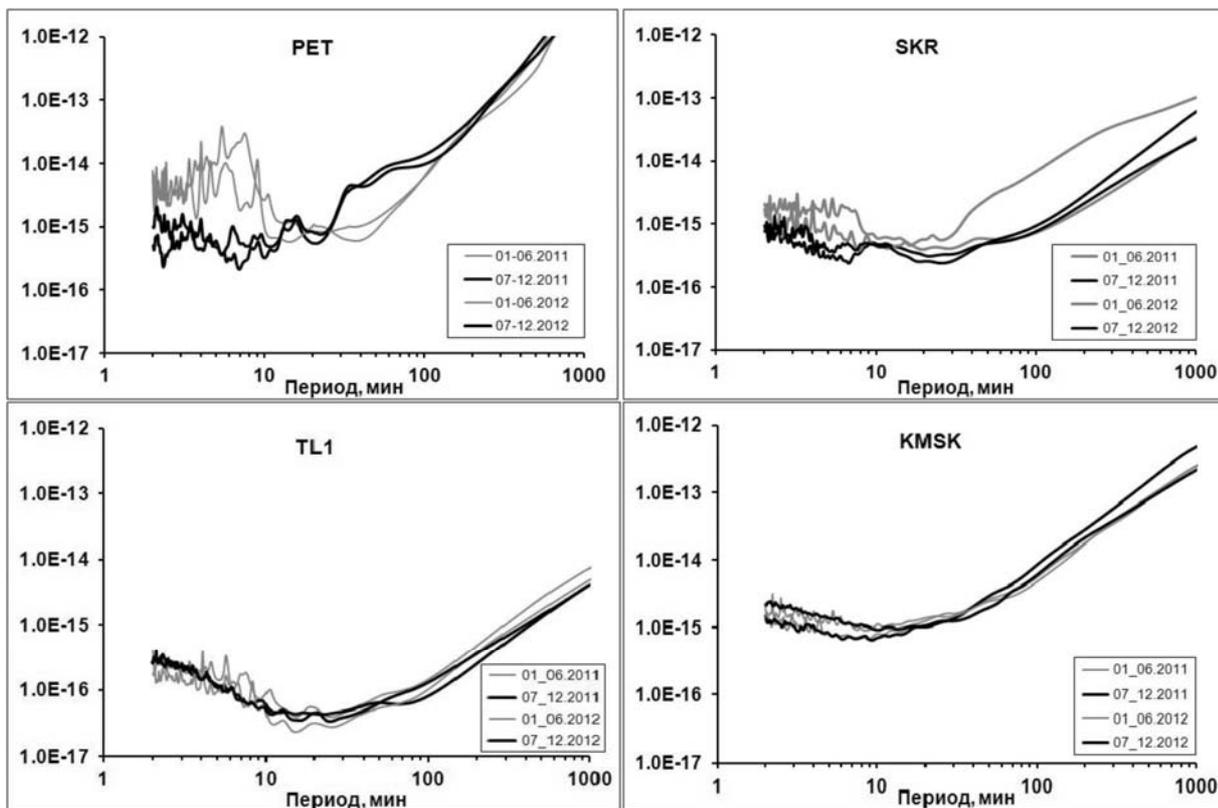


Рис. 4. Спектры мощности 1-минутных рядов записей на канале BHZ длиной полгода на сейсмических станциях РЕТ, SKR, TL1 и KMSK

Отметим, что спектры, построенные для 1-минутных временных рядов различной длины, подобны. Это свидетельствует об устойчивости спектральной структуры рядов на отдельных станциях в течение различных сезонов года и за период времени до двух лет. Вместе с тем, амплитуды вариаций на прибрежных станциях РЕТ, SKR и TL1 в диапазоне перио-

дов от 2 до 14 минут для первых половин года (январь - июнь) выше, чем для вторых половин 2011 и 2012 гг. (рис. 4). Такой эффект не прослеживается на внутриконтинентальной станции KMSK, на которой не обнаружена зависимость интенсивности вариаций 1-минутного ряда от времени года.

В спектрах мощности, построенных для 1-минутных рядов продолжительностью 3 месяца, наблюдается относительное повышение интенсивности их вариаций в течение весеннего периода (март—май) (рис. 5). Особенно ярко такая особенность проявляется на с/ст. PET и SKR в диапазоне периодов 2–10 мин.

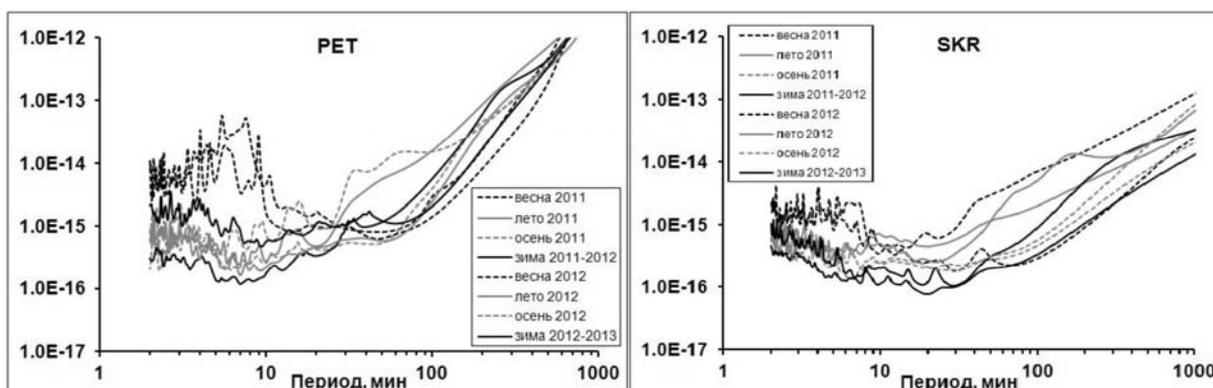


Рис. 5. Спектры мощности 1-минутных временных рядов записей на канале BHZ длиной 3 месяца на сейсмических станциях PET и SKR

Вид спектров мощности среднечасовых временных рядов длиной 1 и 2 года слабо зависит от расположения сейсмостанций – континентальная или прибрежная (рис. 6). Вместе с тем, такие спектры имеют особенности морфологической структуры, отличающиеся для прибрежных и континентальных станций. В спектрах для прибрежных станций наблюдается четкое раздвоение пиков на суточном и полусуточном спектральных периодах. В спектре ряда на континентальной станции KMSK суточный максимум не имеет такого раздвоения. Это свидетельствует о том, что компоненты, соответствующие по периоду приливному и обусловленные, главным образом, морскими приливами, выражены ярче на прибрежных станциях.

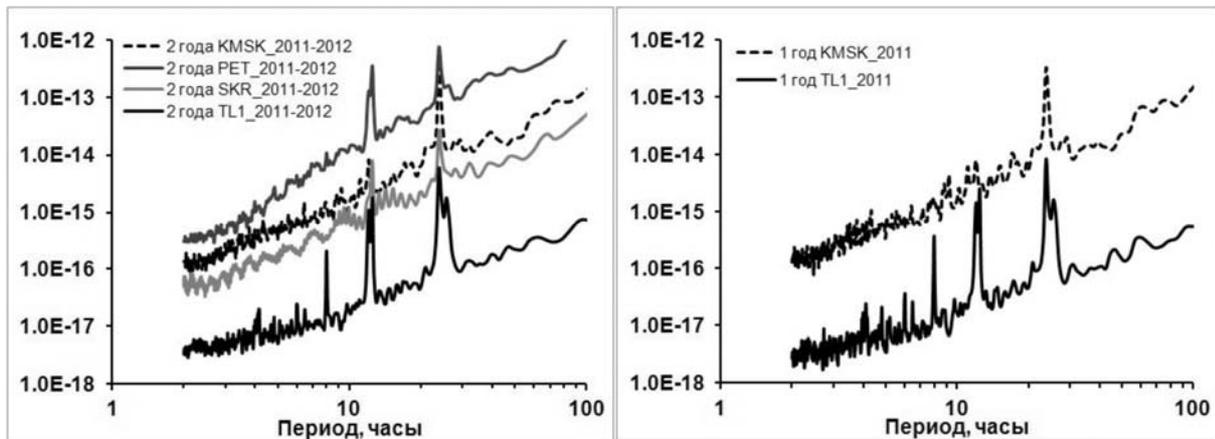


Рис. 6. Спектры мощности среднечасовых рядов сейсмических записей на канале ВНЗ длиной 2 года на станциях РЕТ, КМСК, СКР, ТЛ1 (слева) и спектры мощности среднечасовых рядов длиной 1 год на континентальной станции КМСК и на прибрежной станции ТЛ1 (справа)

## ВЫВОДЫ

По результатам спектрального анализа 1-минутных временных рядов сейсмических записей на канале ВНЗ в диапазоне периодов 2–1000 минут на четырех станциях можно сделать предварительные выводы:

- на всех трех прибрежных станциях РЕТ, СКР и ТЛ1 наблюдается повышение интенсивности вариаций в первых половинах календарного года в диапазоне периодов от 2 до ~14 минут;

- в указанном диапазоне периодов интенсивность вариаций ряда наиболее высока на с/ст. РЕТ, что может быть обусловлено ее расположением в городе, а также вследствие локальных сейсмогеологических условий (скальные породы);

- обнаружены сезонные изменения в поведении временных рядов на прибрежных станциях; при этом повышенные амплитуды их вариаций отмечаются в первой половине года, особенно весной.

Результаты спектрального анализа 1-минутных записей на канале ВНЗ на сеймостанциях Камчатки могут быть полезны при интерпретации карт распределения статистических параметров сейсмического шума по пространству. Примеры таких карт приводятся в [1, 5, 8].

В спектрах мощности среднечасовых временных рядов сейсмических записей обнаружено наличие полусуточных и суточных приливных волн, морфология и интенсивность которых зависит от местоположения станции. Для прибрежных станций PET, SKR, TL1, наряду с чисто суточной и полусуточной компонентами с периодами 24 и 12 ч, отмечаются ярко выраженные спектральные максимумы, свидетельствующие о наличии волн O1 (период 25.82 ч) и M2 (период 12.42 ч), которые присутствуют как в земном, так и в океаническом приливе.

В среднечасовом ряду для континентальной сейсмостанции KMSK присутствует устойчивый максимум на периоде 24 ч. и отсутствуют спектральные максимумы, соответствующие компонентам с периодом 12 и 8 ч.

Работа выполнена в рамках изучения естественных вариаций низкочастотного сейсмического шума и разработки методики прогноза сильных землетрясений Камчатки, при поддержке гранта РФФИ 12-05-00146-а (руководитель проекта д. ф.-м. н. А.А. Любушин, Институт физики Земли РАН, г. Москва).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Касимова В.А., Любушин А.А.* Перспективы использования данных сети широкополосных сейсмических станций для изучения сигналов синхронизации поля микросейсм на Камчатке // Исследования в области наук о Земле. Матер. X рег. мол. конф. Петропавловск-Камчатский: ИВИС ДВО РАН, 2012. С. 115–126.
2. *Касимова В.А., Копылова Г.Н.* Спектральная структура низкочастотного сейсмического шума на широкополосных станциях Камчатки // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Четвертой регион. научно-техн. конф. Петропавловск-Камчатский. 29 сентября -5 октября 2013 г. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 64 - 68.
3. *Копылова Г.Н., Иванов В.Ю., Касимова В.А.* Разработка элементов информационной системы комплексных геофизических наблюдений на территории Камчатки // Российский журнал наук о Земле. 2009. Т. 11. DOI:10.2205/2009ES000329.
4. *Копылова Г.Н., Латыпов Е.Р., Пантюхин Е.А.* Информационная система «Полигон»: комплекс программных средств для сбора, хранения и обработки данных геофизических наблюдений // Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия. Материалы междунар. геофиз. конф., г. Новосибирск. - Изд-во СО РАН, 2003. - С. 393 – 399.
5. *Любушин А.А.* Карты свойств низкочастотных микросейсм для оценки сейсмической опасности // Физика Земли. 2013. № 1. С. 11–20.

6. Любушин А.А. Микросейсмический шум в минутном диапазоне периодов: свойства и возможные прогностические признаки// Физика Земли. 2008. № 4. С. 17–34.
7. Любушин А.А. Разведочный анализ свойств временных рядов на основе использования интерактивной программы Spectra\_Analyzer: Учебное пособие для старших курсов геофизического факультета. М.: РГГРУ, 2006. 46 с.
8. 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. Труды Четвертой регион. научно-техн. конф. Петропавловск-Камчатский. 29 сентября -5 октября 2013 г. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 471 - 475.
9. Санников К.Ю., Лыскова Е.Л. Вариации длиннопериодного шума на сейсмической станции «Пулково» в полосе частот от 0.5 до 0.008Гц в 1999-2003 гг. // Вопросы геофизики, вып. 38, Ученые записки СПбГУ, № 438, стр. 56-62, СПбГУ, 2005.
10. Яновская Т.Б. Основы сейсмологии. Изд-во: С.-Петербург. университета, 2008. 222 с.
11. Peterson J. Observations and modeling of seismic background noise // Open-File Rep. Albuquerque. New Mexico. 1993. P.93-322.

**SPECTRAL STRUCTURE OF THE  
LOW-FREQUENCY SEISMIC NOISE ON THE BROADBAND STATIONS  
IN KAMCHATKA (BASED ON 2011-2013 DATA)**

*Kasimova V.A.*

*Kamchatka Branch of Geophysical Service Russian Academy of Science*

The spectral analysis of time series of seismic records on channel BHZ at four stations in Kamchatka averaged in 1 -minute and hourly intervals had been performed. The stability of the spectral structure of noise was observed during different seasons of the year and for a time period of up to two years. The intensity of microseism for the coastal stations is higher than the intensity for the continental station in the power spectra of 1-minute time series. There is increased noise level in the first half of the calendar year in the period range from 2 to ~ 14 minutes. Seasonal changes in the noise level was observed at coastal stations. Increased amplitude of noise was observed in the first half of the year, especially in spring. The spectral maximums of tidal waves O1 and M2, which are presented in both the earth and oceanic tides, together with the diurnal and semidiurnal components (periods 24 and 12 hrs, respectively) was observed in the power spectra of average hourly time series for the coastal stations.