

**AMBIENT SEISMIC NOISE VARIATIONS BEFORE EARTHQUAKES IN THE BAIKAL RIFT SYSTEM****S.A. Korol**<sup>1✉</sup>, **A.V. Sankov**<sup>1</sup>, **A.A. Dobrynina** <sup>1,2</sup>, **V.A. Sankov** <sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 128 Lermontov St, Irkutsk 664033, Russia

<sup>2</sup> Geological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 6 Sakhyanova St, Ulan-Ude 670047, Republic of Buryatia, Russia

<sup>3</sup> Irkutsk State University, 3 Karl Marx St, Irkutsk 664011, Russia

**ABSTRACT.** This paper proposes a method to observe the pre-earthquake features based on the variations in ambient noises using local moderate and strong seismic events as an example. Eight earthquakes in the Baikal rift system with energy classes  $K=10.1-15.9$  were associated to a significant decrease in the level of ambient noises at epicentral distances from 3 to 81 km a few hours before the shock. The observed decrease in the ambient noise level can be classified as a short-term precursor of the medium consolidation 4–5 hours before the earthquake.

**KEYWORDS:** earthquake's precursors; ambient seismic noise; Baikal rift system; time-frequency analysis

**FUNDING:** The works of S.A. Korol and A.V. Sankov were done as a part of the project of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation 075-15-2020-787 "Basic grounds, methods and technologies of digital monitoring and ecological forecasting for the Baikal Natural Territory". The works of A.A. Dobrynina and V.A. Sankov were supported by the Russian Fund of Basic Researches (project 21-55-53019\_ NSFC-a).

**SHORT COMMUNICATION**

Received: December 8, 2021

Revised: January 10, 2022

Accepted: January 20, 2022

**Correspondence:** Svetlana A. Korol, [blinova@crust.irk.ru](mailto:blinova@crust.irk.ru)

**FOR CITATION:** Korol S.A., Sankov A.V., Dobrynina A.A., Sankov V.A., 2022. Ambient Seismic Noise Variations before Earthquakes in the Baikal Rift System. *Geodynamics & Tectonophysics* 13 (2s), 0632. doi:10.5800/GT-2022-13-2s-0632

## ВАРИАЦИИ УРОВНЯ МИКРОСЕЙСМ ПЕРЕД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ В БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ СИСТЕМЕ

С.А. Король<sup>1</sup>, А.В. Саньков<sup>1</sup>, А.А. Добрынина<sup>1,2</sup>, В.А. Саньков<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

<sup>2</sup> Геологический институт СО РАН, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, Республика Бурятия, Россия

<sup>3</sup> Иркутский государственный университет, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1, Россия

**АННОТАЦИЯ.** В работе показана методика обнаружения признаков подготовки землетрясений по данным о вариациях микросейсмического шума на примере близких умеренных и сильных сейсмических событий. Для восьми землетрясений Байкальской рифтовой системы с энергетическим классом  $K=10.1-15.9$  на эпицентральных расстояниях от 3 до 81 км установлено значимое понижение уровня микросейсмического шума за несколько часов перед толчком. Зафиксированное понижение уровня может классифицироваться как краткосрочный предвестник, связанный с консолидацией среды за 4–5 часов до землетрясения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** предвестники землетрясений; микросейсм; Байкальская рифтовая система; спектрально-временной анализ

**ФИНАНСИРОВАНИЕ:** Работы С.А. Король и А.В. Санькова проводились в рамках проекта Минобрнауки РФ № 075-15-2020-787 «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории». Работы А.А. Добрыниной и В.А. Санькова поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 21-55-53019\_ГФЕН-а.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Преобладающее большинство землетрясений, особенно средней силы и сильные, как правило, связаны с подвижками по уже существующим разломам или с разрастанием разломов. Каждая подвижка синхронна с сейсмическим событием. Важнейшей задачей является выбор прогнозного параметра, который отражает реальные геофизические процессы в литосфере и изменения которого с большой вероятностью свидетельствуют о приближении сейсмического события в пределах локального участка литосферы сейсмоактивной зоны.

Микросейсмические колебания природного происхождения несут в себе информацию обо всем многообразии деформационных процессов, происходящих в земной коре на различных энергетических уровнях, – от перемещений тектонических плит и связанных с ними катастрофических землетрясений до лунно-солнечных приливных деформационных процессов и микроземлетрясений. В последние годы широко развиваются способы сейсмического мониторинга, основанного на выделении и анализе компонент волнового поля микросейсм, которые направлены на получение прогностических данных [Saltykov, 2017; Sobolev, 2004, 2011; Sobolev, Ponomarev, 2003; Sobolev et al., 2008; Lyubushin, 2011]. Примером удачного прогноза сейсмического события по микросейсмам (с выделением долгосрочных предвестников) является прогноз катастрофического землетрясения Тохоку (Япония) 11 марта 2011 г. с магнитудой  $M=9$  [Lyubushin, 2011; Sololev et al., 2008]. Хорошо зарекомендовала себя методика выделения предвестников землетрясений на основе анализа приливных микросейсм [Saltykov, 2017].

Возможность краткосрочного прогноза для Байкальской рифтовой системы (БРС) иллюстрируется примером изменения спектрального состава сейсмического шума перед Куморским землетрясением 16 сентября 2003 г. (энергетический класс  $K_p=14.3$ , моментная магнитуда  $M_w=5.6$ ): за один час до землетрясения наблюдается значимое уменьшение уровня микросейсмического шума (МСШ) на сейсмостанции Кумора с минимумом на частоте 6.6 Гц [Chernykh, Tabulevich, 2004].

Целью настоящей работы было развитие методики обнаружения признаков подготовки близких умеренных и сильных землетрясений по данным мониторинга МСШ на примере БРС.

### 2. МЕТОДИКА И ДАННЫЕ

**Метод.** В основе методики поиска краткосрочных предвестников землетрясений лежит оценка вариаций амплитудно-частотных характеристик микросейсмических полей в ближней к очагу зоне. Предлагаемый подход заключается в следующем:

1) для сейсмической станции определяется средний спектр МСШ  $A_{sp}(f)$  по архивным данным за текущий год;

2) строятся текущие спектры  $A_t(f)$  20-минутных участков записи МСШ за несколько часов до землетрясения;

3) проводится сравнение полученных текущих спектров  $A_t$  со средним спектром  $A_{sp}$ .

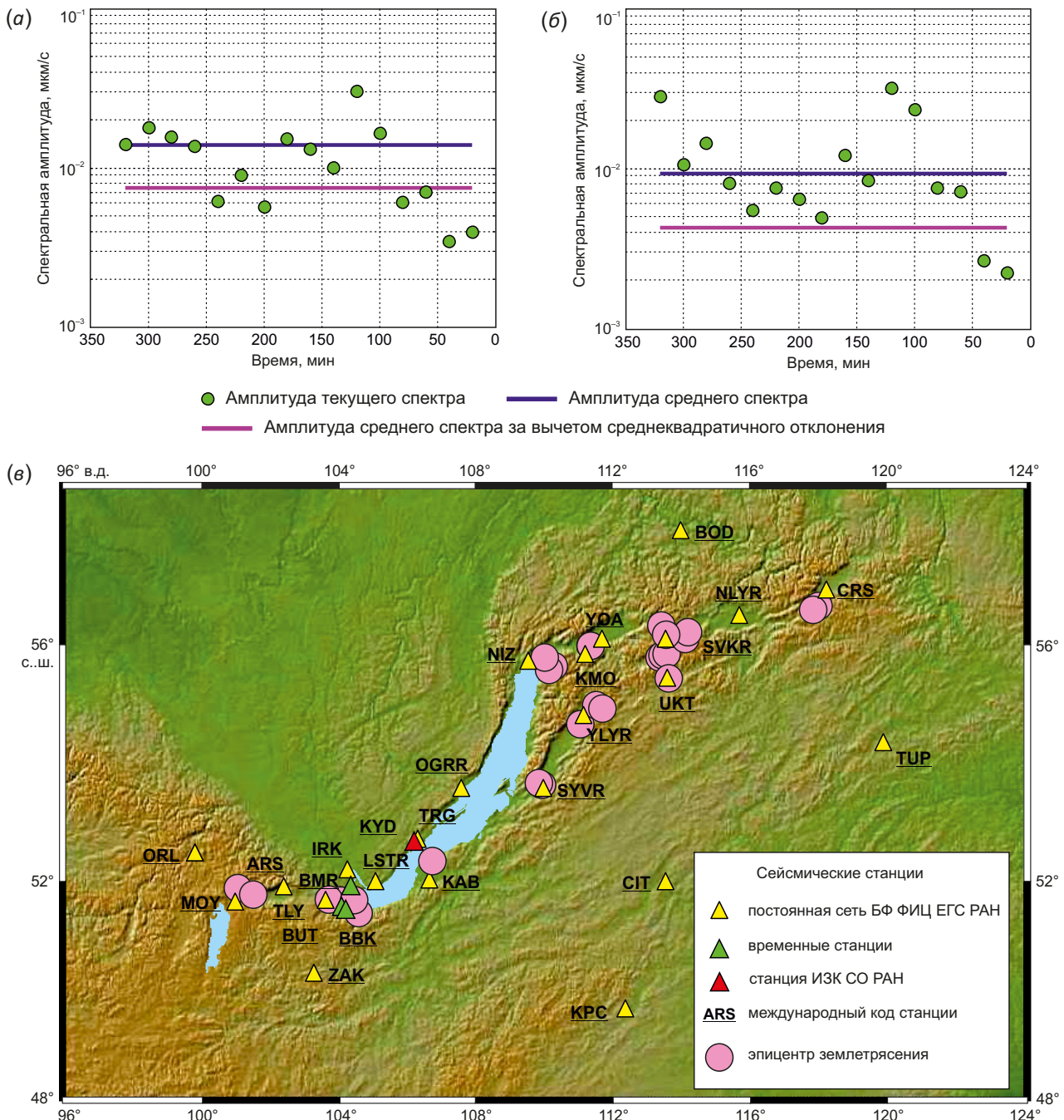
На рис. 1 а, б, приведены примеры вариаций уровня МСШ на частотах 27 и 36 Гц за пять часов до сильного Куморского землетрясения 16 сентября 2003 г., полученные на сейсмической станции Кумора (КМО), находящейся на расстоянии 25 км от эпицентра. Понижение

уровня текущего спектра МСШ относительно среднего наблюдается примерно за час до землетрясения [Chernykh, Tabulevich, 2004]. Зафиксированное понижение уровня МСШ может классифицироваться как краткосрочный предвестник, который связан с консолидацией среды перед землетрясением.

Помимо вариаций уровня МСШ для поиска предвестников дополнительно также использовались следующие

параметры: показатель степенной функции тренда ( $\gamma$ ) и коэффициент регрессии ( $R$ ) между средними и текущими спектрами на всех частотах. Чтобы определить параметр  $\gamma$ , строились графики зависимости  $A_t(A_{sp})$  между средними  $A_{sp}(f)$  и текущими  $A_t(f)$  спектрами МСШ для всего частотного диапазона, графики аппроксимировались степенной зависимостью вида:

$$y(x)=a \cdot x^\gamma.$$



**Рис. 1.** Вариации амплитуды спектра МСШ перед Куморским землетрясением на разных частотах. (а) – на частоте 27 Гц, (б) – 36 Гц. По оси абсцисс показано время до землетрясения в минутах; (в) – положение эпицентров исследуемых землетрясений (кружки) и сейсмических станций (треугольники).

**Fig. 1.** Ambient seismic noise variations at different frequencies before the Kumora earthquake. (a) at a frequency of 27 Hz, (b) at a frequency of 36 Hz. The x-axis shows the time before the earthquake in minutes; (c) – location of the studied-earthquake epicenters (circles) and seismic stations (triangles).

Сопоставление временных вариаций уровня микро-сейсмического шума и параметров  $\gamma$  и R говорит о том, что в некоторых случаях эти параметры даже более показательны, чем простые сопоставления спектральных амплитуд, так как понижение коэффициента регрессии R наблюдается для более продолжительного промежутка времени. В частности, для Куморского землетрясения понижение наблюдалось за 1 час 40 минут до толчка. В дальнейшем анализировались параметры  $\gamma$  и R, полученные для каждой эмпирической зависимости.

**Данные.** Предложенная методика использовалась для поиска предвестников землетрясений разной силы:

слабых, умеренных и сильных. Всего было рассмотрено 28 землетрясений с энергетическим классом  $K=9.5-15.9$  (магнитуда  $M=3.1-6.3$ ) за период 1999–2020 гг. (табл. 1; рис. 1, в). Для анализа МСШ использовались данные непрерывной цифровой регистрации, полученные на сейсмических станциях Байкальского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (БФ ФИЦ ЕГС РАН), а также широкополосной сейсмической станции Куяда (KYD) Института земной коры СО РАН; расстояние  $\Delta$  от эпицентров землетрясений составляло от 3 до 81 км (рис. 1, в). В настоящей работе использовались данные чувствительных короткопериодных

**Таблица 1.** Параметры исследуемых землетрясений

**Table 1.** Parameters of the earthquakes studied

№	Дата дд.мм.гггг	Время чч:мм:сс.с	Координаты, град.		K	$\Delta$ , км	Код станции	Время предвестника
			с.ш.	в.д.				
1	25.02.1999	18:58:29.9	51.64	104.82	14.6	81	TLY (IRIS/Ida)	1 ч 15 мин
2	04.10.2002	17:59:06.2	56.27	114.19	12.2	40	SVKR	6 ч 45 мин
3	25.01.2003	23:35:26.6	55.04	111.54	12.2	30	YLYR	предвестник не обнаружен
4	16.09.2003	11:24:54.4	56.05	111.34	14.3	26	YOA	26 мин
5	17.09.2003	02:59:56.0	51.75	101.46	13.7	33	MOY	предвестник не обнаружен
6	08.03.2004	09:27:25.9	56.16	114.11	12.4	34	SVKR	16 мин
7	28.06.2004	14:22:46.5	56.68	117.97	13.5	30	CRS	предвестник не обнаружен
8	06.07.2004	14:37:15.6	56.38	113.41	11.8	24	SVKR	43 мин
9	19.11.2004	14:47:45.0	56.05	111.33	10.5	20	KMO	предвестник не обнаружен
10	02.01.2005	00:24:38.7	56.66	117.92	13.8	34	CRS	предвестник не обнаружен
11	21.03.2005	18:04:55.2	51.68	104.39	12.2	37	LSTR	предвестник не обнаружен
12	05.02.2006	02:24:48.2	55.02	111.63	11.8	34	YLYR	предвестник не обнаружен
13	21.03.2006	16:30:19.8	53.70	109.92	9.50	7	SYVR	предвестник не обнаружен
14	10.10.2006	16:15:22.1	55.51	113.63	9.90	2	UKT	предвестник не обнаружен
15	04.12.2006	09:14:04.2	55.68	110.16	13.4	40	NIZ	20 мин
16	11.12.2006	09:08:46.2	55.69	110.18	13.1	41	NIZ	предвестник не обнаружен
17	11.12.2006	11:55:29.8	55.69	110.20	11.8	42	NIZ	предвестник не обнаружен
18	21.03.2007	14:55:43.1	55.87	113.42	12.2	35	SVKR	предвестник не обнаружен
	21.03.2007	14:55:43.1	55.87	113.42	12.2	44	UKT	предвестник не обнаружен
19	23.08.2007	05:54:28.64	55.91	113.50	13.3	30	SVKR	предвестник не обнаружен
	23.08.2007	04:49:19.4	55.91	113.50	13.3	47	UKT	предвестник не обнаружен
20	05.09.2007	22:49:07.8	55.86	109.99	11.9	30	NIZ	37 мин
21	21.11.2007	10:08:05.7	54.74	111.04	10.3	17	YLYR	предвестник не обнаружен
22	04.05.2008	07:27:32.8	51.66	103.68	10.1	3	TLY	37 мин
23	27.08.2008	01:35:31.4	51.62	104.06	15.9	29	TLY (IRIS/Ida)	2 ч
24	30.08.2008	13:53:29.0	51.64	104.03	12.1	27	TLY	предвестник не обнаружен
	30.08.2008	13:53:29.0	51.64	104.03	12.1	21	BMR, вр.ст.	предвестник не обнаружен
	30.08.2008	13:53:29.0	51.64	104.03	12.1	12	BUT, вр.ст.	31 мин
	30.08.2008	13:53:29.0	51.64	104.03	12.1	15	BBK, вр.ст.	12 мин
25	03.01.2009	03:50:15.6	56.23	113.55	12.1	6	SVKR	предвестник не обнаружен
26	17.02.2009	00:47:43.6	51.87	101.01	11.3	23	MOY	предвестник не обнаружен
27	30.11.2009	13:22:17.9	53.73	109.83	10.4	14	SYVR	предвестник не обнаружен
28	20.12.2020	21:44:34.0	52.37	106.64	13.9	39	KYD	предвестник не обнаружен

Примечание.  $\Delta$  – эпицентральное расстояние до сейсмической станции.

Note.  $\Delta$  – the epicentral distance from the seismic station.

каналов сейсмических станций БФ ФИЦ ЕГС РАН (аппаратура «Байкал-10», «Байкал-11», рабочий диапазон частот от 0.5 до 20 Гц). Сейсмическая станция Куяда расположена в пункте комплексного мониторинга опасных геологических процессов «Бугульдейка» ИЗК СО РАН, входящего в состав ЦПК «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН, в комплект аппаратуры входят сейсмометр Trillium Compact Posthole 120 и регистратор Centaur, рабочая полоса – от 120 с до 108 Гц. Для двух сильных землетрясений – Южно-Байкальского (25.02.1999 г., Mw=6.0) и Култукского (27.08.2008 г., Mw=6.3) – также анализировались записи широкополосной станции Талая (ТЛУ, входит в глобальную сейсмическую сеть IRIS/Ida). Для анализа использовались записи скоростей движений.

Для расчета среднего спектра на каждой станции использовались данные непрерывной сейсмической регистрации за 1–2 месяца перед землетрясением, для расчетов текущих спектров – записи микросейсм за 1–2 суток перед землетрясением и за сутки после землетрясения.

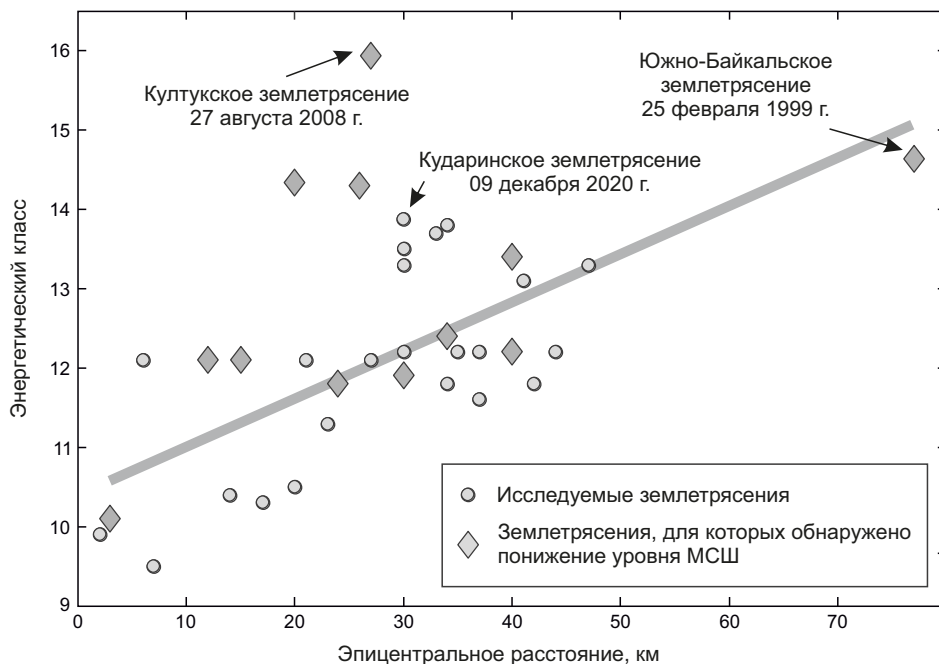
**3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

В результате с использованием предложенной методики для восьми событий с  $K_p=10.1-14.3$  ( $M=3.4-5.7$ ) было установлено понижение амплитуд сейсмического шума перед землетрясением – от 12 минут до 6 часов 45 минут (табл. 1). Дополнительно при обнаружении предвестника для каждого события строились и анализировались спектрограммы (спектрально-временные или СВАН-диаграммы) для шестиминутных отрезков записей микросейсм за час до появления предвестника и до возвращения амплитудно-частотных

характеристик шумов к среднему спектру. По спектрограмме для землетрясения 4 октября 2002 г. (время в очаге 17:59,  $K=12.2$ ) на станции Северомуйск (эпицентральное расстояние 40 км) за 6 часов 45 минут до землетрясения начинается понижение спектрального уровня МСШ. Понижение амплитуд МСШ наблюдалось также в течение нескольких часов после землетрясения. Через 2.5 часа после землетрясения началось его постепенное повышение, и через 4 часа после толчка амплитуда МСШ достигла своей нормальной величины.

Отдельно рассматривались микросейсмические колебания перед сильными землетрясениями, произошедшими в Южно-Байкальской впадине: Южно-Байкальским (25.02.1999 г., Mw=6.0), Култукским (27.08.2008 г., Mw=6.3) и Кударинским (09.12.2020 г., Mw=5.6). Для анализа использовались широкополосные записи микросейсм длиной 1 час, полученные на широкополосных сейсмических станциях Талая и Куяда. Наиболее представительным оказался частотный диапазон от 0.5 до 15 Гц. На спектрограммах перед Южно-Байкальским и Култукским землетрясениями наблюдается понижение уровня микросейсмического шума на частотах от 1 до 5 Гц. В то же время для Култукского землетрясения, наоборот, отмечается повышение амплитуд микросейсмических колебаний в области низких частот – 0.5–1.4 Гц, что может быть связано с прибойными эффектами оз. Байкал. Для Кударинского землетрясения статистически значимого понижения уровня МСШ не наблюдается.

Эффект понижения уровня МСШ перед близким землетрясением установлен для сейсмических станций Северомуйск, Нижнеангарск, Талая, Уоян и двух временных станций в районе Южного Байкала – ВУТ



**Рис. 2.** Соотношение энергетических классов и эпицентральных расстояний рассматриваемых землетрясений.  
**Fig. 2.** Relationship between energy classes and epicentral distances of the earthquakes studied.

и ВВК. Отсутствие предвестника для других рассматриваемых станций частично объясняется низким отношением сигнал/шум, где под сигналом понимается предвестник, а под шумом – фоновые помехи, связанные с локальными грунтовыми условиями в пункте установки сейсмостанций. Некоторые сейсмические станции расположены в местах, характеризующихся значительными сезонными и суточными изменениями частотного отклика верхней части разреза, что объясняется в первом случае сезонными промерзаниями грунтов, а во втором – как приливными и прибойными эффектами на оз. Байкал (некоторые станции расположены вблизи береговой линии), так и наличием сильных техногенных помех (транспорт, ГЭС, железная дорога) [Dobrynina et al., 2018].

Большую роль при обнаружении предвестника также играет расстояние от приемника до источника и энергия землетрясения. На рис. 2 приведено соотношение между  $K$  и  $\Delta$  для землетрясений, для которых зафиксирован эффект понижения уровня микросейсмического шума перед толчком. Видно, что с увеличением силы землетрясения растет расстояние, на котором фиксируется предвестник, что объясняется относительно большим размером области подготовки сильных событий и самого очага будущего землетрясения. Влияние эпицентрального расстояния на возможность фиксации предвестника также значительно. Так, на сейсмостанции Талая (стоит на скальном основании) наблюдается понижение уровня сейсмического шума перед слабым землетрясением ( $K=10.1$ ,  $\Delta=3$  км), в то время как перед одним из афтершоков Култукского землетрясения 2008 г. ( $\Delta=27$  км,  $K=12.1$ ) изменений в частотном составе микросейсм не наблюдается. В то же время для слабого землетрясения 10.10.2006 г. с  $K=9.9$  (табл. 1, № 14) и с  $\Delta=2$  км значимых изменений в амплитудно-частотном составе МСШ не обнаруживается.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований получила развитие методика обнаружения признаков подготовки землетрясений на примере близких умеренных и сильных сейсмических событий по данным о вариациях спектральных амплитуд МСШ. Для восьми землетрясений БРС с энергетическим классом  $K=10.1-15.9$  на эпицентральных расстояниях от 3 до 81 км установлено значимое понижение уровня микросейсмического шума за несколько часов перед толчком.

Зафиксированное понижение уровня МСШ может классифицироваться как краткосрочный предвестник, связанный с консолидацией среды за 4–5 часов до землетрясения.

#### 5. БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны заместителю директора БФ ФИЦ ЕГС РАН, к.г.-м.н. В.В. Чечельницкому и анонимному рецензенту за конструктивные замечания, позволившие улучшить качество статьи.

Исследование выполнено с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (уникальная научная установка «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира») и УНУ «Южно-Байкальский инструментальный комплекс для мониторинга опасных геодинамических процессов», входящей в состав ЦКП «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН.

#### 6. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

The authors contributed equally to this article.

#### 7. КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTERESTS

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Все авторы прочитали рукопись и согласны с опубликованной версией.

The authors have no conflicts of interest to declare. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

#### 8. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Chernykh E.N., Tabulevich V.N., 2004. On Compilation of a Database of Seismic Noises. In: Geodynamics and Geological Evidence of the Changing Environments of the Northern Regions. Proceedings of the All-Russian Conference with an International Participation (September 13–18, 2004). Iss. 2. Institute of Ecological Problems of the North UrB RAS, Arkhangelsk, p. 357–361 (in Russian) [Черных Е.Н., Табулевич В.Н. О создании базы данных по сейсмическим шумам // Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов: Материалы Всероссийской конференции с международным участием (13–18 сентября 2004 г.). Архангельск: Институт экологических проблем севера УРО РАН, 2004. Т. 2. С. 357–361].

Dobrynina A.A., Sankov A.V., Shagun A.N., 2018. Seasonal Variations of Amplitude-Frequency Patterns of Local Ambient Noises by Baikal Network Seismic Station Data. Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences: Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits 41 (3), 22–34 (in Russian) [Добрынина А.А., Саньков А.В., Шагун А.Н. Сезонные вариации амплитудно-частотных характеристик микросейсмических колебаний по данным сейсмических станций байкальской сети // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2018. Т. 41. № 3. С. 22–34]. <https://doi.org/10.21285/2541-9455-2018-41-3-22-34>.

Lyubushin A.A., 2011. Japan Seismic Catastrophe 11 of March 2011: Long-Term Prediction by Microseismic Noise Properties. Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics 10

(1), 9–35 (in Russian) [Любушин А.А. Сейсмическая катастрофа в Японии 11 марта 2011 г.: долгосрочный прогноз по низкочастотным микросейсам // Геофизические процессы и биосфера. 2011. Т. 10. № 1. С. 9–35].

Saltykov V.A., 2017. On the Possibility of Using the Tidal Modulation of Seismic Waves for Forecasting Earthquakes. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth* 53 (2), 250–261. <https://doi.org/10.1134/S1069351317010128>.

Sobolev G.A., 2004. Microseismic Variations Prior to a Strong Earthquake. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth* 40 (6), 455–464.

Sobolev G.A., 2011. A Concept of Predictability of Earthquakes Based on Seismicity Dynamics at Trigger Effect. IPE

RAS Publishing House, Moscow, 56 p. (in Russian) [Соболев Г.А. Концепция предсказуемости землетрясений на основе динамики сейсмичности при триггерном воздействии. М.: Изд-во ИФЗ РАН, 2011. 56 с.].

Sobolev G.A., Lyubushin A.A., Zakrzhevskaya N.A., 2008. Asymmetrical Pulses, the Periodicity and Synchronization of Low Frequency Microseisms. *Journal of Volcanology and Seismology* 2, 118–134. <https://doi.org/10.1134/S074204630802005X>.

Sobolev G.A., Ponomarev A.V., 2003. *Physics of Earthquakes and Precursors*. Nauka, Moscow, 270 p. (in Russian) [Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003. 270 с.].