Оригинальная статья / Original article

УДК 550.341

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2018-41-3-22-34>

СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ БАЙКАЛЬСКОЙ СЕТИ

© А.А. Добрынина^а, А.В. Саньков^б, А.Н. Шагун^с

^{а-с}Институт земной коры СО РАН,
664033, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

^аГеологический институт СО РАН,
670047, Российская Федерация, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а.

РЕЗЮМЕ. Цель. Оценка и анализ амплитудно-частотного состава фоновых микросейсмических колебаний и их возможных сезонных вариаций на территории Байкальской сейсмической зоны. **Методы.** В работе применялся метод спектральных отношений вертикальных и горизонтальных компонент микросейсм (H/V-отношения) или метод Накамуры. В качестве исходного анализируемого материала использовались записи непрерывной сейсмической регистрации, полученные 23 короткопериодными сейсмическими станциями Байкальского филиала ФИЦ «Единая геофизическая служба Российской академии наук», расположенными на территории Байкальской сейсмической зоны. С целью исключения случайных ошибок, связанных с техногенными помехами, землетрясениями, промышленными взрывами и пр., для анализа выбирались длительные участки сейсмических записей продолжительностью не менее 1 ч. **Результаты.** Были получены кривые H/V-отношений и их сезонные вариации, характеризующие амплитудно-частотный состав фоновых микросейсмических колебаний в частотном диапазоне от 0,5 до 10 или 20 Гц в зависимости от типа регистрирующей аппаратуры. **Выводы.** Полученные кривые H/V-отношений условно можно разделить на две группы: стабильные и со значительными сезонными вариациями. К первой группе относятся станции с устойчивыми амплитудно-частотными характеристиками микросейсмического сигнала, не зависящими от сезона. Ко второй группе относятся станции, для которых получены кривые H/V-отношений со значительными сезонными вариациями. Сопоставление положения сейсмических станций и полученных кривых H/V-отношений показало существование зависимости амплитудно-частотных характеристик микросейсмического сигнала от локальных условий их в районе установки станций (на выходе скальных пород фундамента, в зоне крупных активных разломов или во впадинах с мощным осадочным чехлом).

Ключевые слова: Байкальская сейсмическая зона, амплитудно-частотный состав сейсмического сигнала, микросейсмы, метод Накамуры, спектральный анализ.

Информация о статье. Дата поступления 15 июня 2018 г.; дата принятия к печати 28 августа 2018 г.; дата онлайн-размещения 28 сентября 2018 г.

Формат цитирования. 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. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-3-22-34

^аДобрынина Анна Александровна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института земной коры СО РАН, Геологического института СО РАН, e-mail: dobrynina@crust.irk.ru
Anna A. Dobrynina, Candidate of Physical and Mathematical sciences, Senior Researcher of the Institute of the Earth's crust SB RAS, Geological Institute SB RAS, e-mail: dobrynina@crust.irk.ru

^бСаньков Алексей Владимирович, ведущий инженер, e-mail: alekseysankov@inbox.ru
Aleksey V. Sankov, Leading Engineer, e-mail: alekseysankov@inbox.ru

^сШагун Артем Николаевич, ведущий инженер, e-mail: shagin@crust.irk.ru
Artem N. Shagin, Leading Engineer, e-mail: shagin@crust.irk.ru

SEASONAL VARIATIONS OF AMPLITUDE-FREQUENCY PATTERNS OF LOCAL AMBIENT NOISES BY BAIKAL NETWORK SEISMIC STATION DATA

© A.A. Dobrynina^a, A.V. Sankov^b, A.N. Shagun^c

^{a-c}Institute of the Earth's crust SB RAS,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russian Federation

^aGeological Institute SB RAS,
6a Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670047, Buryat Republic, Russian Federation

ABSTRACT. Purpose. The purpose of the paper is evaluation and analysis of the amplitude-frequency patterns of background microseisms (local ambient noises) and their possible seasonal variations in the territory of the Baikal seismic zone. **Methods.** The method of spectral relations of the vertical and horizontal components of the microseism (H/V-ratio) or Nakamura method is used. The continuous seismic recording data obtained by 23 short-period seismic stations of the Baikal Branch of the Federal Research Centre "Single Unified Geophysical Survey of the Russian Academy of Science" located in the Baikal seismic zone are used as an input material for the analysis. Only long segments of seismic records with the duration of at least 1 hour have been selected for the analysis in order to exclude possible random errors related to human-made noises, earthquakes, industrial explosions, etc. **Results.** The obtained curves of H/V-ratios and their seasonal variations characterize the amplitude-frequency patterns of local ambient noises in the frequency range from 0.5 to 10.0 or 20.0 Hz depending on the type of the recording equipment used. **Conclusions.** The obtained H/V-ratio curves can be conditionally divided into two groups: stable and featuring significant seasonal variations. The first group includes the stations with stable amplitude-frequency characteristics of the microseismic signal, which do not depend on the season. The second group includes the stations for which the H/V-ratio curves demonstrating significant seasonal variations have been obtained. Having compared the position of the seismic stations and the obtained H/V-ratio curves, the authors identified the dependence of the amplitude-frequency characteristics of the microseismic signal on their local conditions in the station setup area (at the outcrops of bedrock, in the zone of large active faults or in the rift depressions with a thick sedimentary cover).

Keywords: Baikal seismic zone, amplitude-frequency content of the seismic signal, microseisms (ambient noise), Nakamura method, spectral analysis

Article info. Received 15 June 2018; accepted for publication 28 August 2018; available online 28 September 2018.

For citation. Dobrynina A.A., Sankov A.V., Shagun A.N. Seasonal variations of amplitude-frequency patterns of local ambient noises by Baikal network seismic station data. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektzii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopayemykh* = 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, 2018, vol. 41, no. 3, pp. 22–34. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-3-22-34 (In Russian).

Введение

Многочисленные исследования последствий сильных и катастрофических землетрясений показали, что поверхностный осадочный слой может значительно усиливать проходящие сейсмические волны, что вызывает дополнительные разрушения [1, 2 и др.]. В связи с этим расчет влияния геологической среды на сейсмический сигнал является непременной составной частью всех работ по сейсмическому микрорайониро-

ванию областей с умеренной и высокой сейсмической активностью.

К настоящему времени разработан целый ряд методов для оценки амплитудно-частотных характеристик верхней части разреза [1, 3–6 и др.]. Наиболее часто применяется метод стандартных спектральных отношений [1, 6 и др.], согласно которому отклик среды на сигнал находится через отношения спектров землетрясений, записанных в исследуемом районе и на опорной станции, уста-

новленной на коренных породах. Часто используется метод одновременной инверсии, применяющийся для определения эффектов источника, пути распространения сигнала и отклика среды под станцией [3, 6 и др.]. Другим широко распространенным подходом является метод спектральных отношений горизонтальных и вертикальных компонент сейсмограммы H/V , он используется как для землетрясений (метод функций приемника) [7], так и для микросейсм (метод Накамуры) [8, 9 и др.]. Сопоставления амплитудно-частотных характеристик, полученных инверсионными методами, методами стандартных спектральных отношений, функций приемника и спектральных отношений микросейсм, показывают хорошее согласие наблюдаемых данных [10–12 и др.].

Целью настоящей работы является оценка и анализ амплитудно-частотного состава микросейсмических колебаний и их возможных сезонных вариаций на территории Байкальской сейсмической зоны методом спектральных отношений [8].

Район исследования

Байкальская сейсмическая зона является продуктом активно протекающих процессов рифтогенеза вдоль юго-восточного края Сибирской платформы (рис. 1). Она протягивается на расстояние 1600 км из северо-западной Монголии до Южной Якутии. Основу древней структуры региона представляют архейско-протерозойская Сибирская платформа и Саяно-Байкальская складчатая (подвижная) область, которые являются тектоническими структурами первого порядка. Внутри Саяно-Байкальской складчатой области выделяется ряд тектонических блоков – террейнов, возраст которых варьирует от позднего протерозоя до среднего палеозоя [13].

Байкальская сейсмическая зона является одним из наиболее сейсмически активных регионов России: за пери-

од инструментальных сейсмологических наблюдений (с 1950 г.) на ее территории произошло 13 землетрясений с магнитудой $M_s \geq 6$; согласно историческим данным в регионе отмечались события с магнитудой до 8,2 [14]. Последнее сильное событие произошло в районе Южного Байкала (Култукское землетрясение 27 августа 2008 г.) и по данным разных сейсмологических агентств имело моментную магнитуду $M_W = 6,1–6,3$.

Регистрация сейсмических событий в Байкальской сейсмической зоне ведется Байкальским филиалом ФИЦ «Единая геофизическая служба Российской академии наук». Региональная сеть сейсмических станций (международный код BAGSR [15]) состоит из 25 станций (см. рис. 1), оборудованных цифровой сейсмической аппаратурой типа «Байкал-10, 11», разработанной в Геофизической службе СО РАН. Комплект аппаратуры имеет три короткопериодных сейсмометрических канала повышенной чувствительности (сейсмометры СМ-3, СМ-3КВ), регистрирующие скорости колебаний от 0,01–0,1 мкм/с до 100–1000 мкм/с; три грубых канала (сейсмометры ОСП-2М) для регистрации ускорений от 50–500 мкм/с² до 100–250 см/с². Частота дискретизации – 100 отсчетов в секунду [15].

Сейсмическая станция Иркутск (IRK) расположена на территории Сибирской платформы, на мощной толще консолидированных осадков палеозоя и мезозоя. Восемь станций находятся в складчатой области на выходах кристаллических пород: Закаменск (ZAK), Орлик (ORL), Тырган (TRG), Бодайбо (BOD), Тупик (TUP), Чита (CIT), Хапчаранга (KPC), Талая (TLY). Остальные станции установлены в рифтовых впадинах или межвпадинных перемычках. Вблизи бортовых разломов впадин расположены станции Монды (MOY), Листвянка (LSTR), Онгурены (OGRR), Нижнеангарск (NIZ), Аршан (ARS),

Рис. 1. Неотектоническая схема Байкальской сейсмической зоны

На врезке показано положение изучаемого района

Тектонические структуры: 1 – Сибирская платформа, 2 – Саяно-Байкальская подвижная область, 3 – кайнозойские рифтовые впадины; разломы: 4 – сдвиги, 5 – сбросы, 6 – взбросы и надвиги; 7 – сейсмическая станция

Fig. 1. Neotectonic diagram of the Baikal seismic zone

The inset shows the position of the area under investigation

Tectonic structures: 1 – Siberian platform, 2 – Sayan-Baikal manoeuvrable region, 3 – Cenozoic rift depressions; fractures: 4 – shifts, 5 – faults, 6 – uplifts and thrusts; 7 – seismic station

Улюнхан (YLYR), Суво (SYVR), Ивановка (IVK), Большое Голоустное (BGT). На межвпадинной перемычке располагается станция Северомуйск (SVKR). Остальные семь постоянных станций – Кабанск (KAB), Кумора (KMO), Уоян (YOA), Неляты (NLYR), Чара (CRS), Уа-кит (UKT) – находятся в рифтовых

впадинах, заполненных рыхлыми кайнозойскими осадками, мощность которых достигает 2300–2800 м (Тункинская, Баргузинская, Верхнеангарская, Муйская и Чарская впадины) [16]. Станции IVK и BGT в настоящей работе не рассматриваются из-за высокого уровня станционных помех.

Методы и материалы

Для оценки амплитудно-частотного состава микросейсмических колебаний и их возможных сезонных вариаций по данным сейсмических станций на территории Байкальской сейсмической зоны нами использовался метод спектральных отношений вертикальных и горизонтальных компонент микросейсм (H/V-отношения) или метод Накамуры [8]. Технология использования H/V-отношений для расчета отклика среды на сейсмический сигнал впервые была предложена в работе [9] и позже популяризована Ю. Накамурой [8]. Данный метод эффективно используется для расчета как фундаментальных периодов [4], так и соответствующих коэффициентов усиления колебаний [5].

Спектры микросейсмических колебаний и H/V-отношения рассчитывались с использованием программы SESAME [17]. Чтобы избежать случайных ошибок (техногенные помехи, транспорт, землетрясения, взрывы, погодные условия и др.) брался отрезок записи длительно-стью не менее 1 ч. Для этого участка записи выбиралось несколько десятков окон (длиной не более 30 с) так, чтобы избежать попадания в анализируемый участок записи случайных помех.

В работе [18] было показано, что уровень H/V-отношений на сейсмических станциях, расположенных в районах с высоким уровнем антропогенных помех (крупные населенные пункты, объекты промышленности, плотины ГЭС, авто- и железнодорожные магистрали), может значительно меняться в течение суток. Поэтому, для того чтобы избежать искажения результатов за счет антропогенного фактора, для оценки сезонных вариаций микросейсмических колебаний рассматривались данные непрерывной регистрации за сутки в разные дни недели (будни, выходные) и в разные сезоны (лето, зима). В окончательный расчет включались только те окна, для ко-

торых отношение STA/LTA лежало в пределах 0,5–2 (здесь STA и LTA – средние уровни амплитуды сигналов для короткого (1 с) и длинного (25 с) временных периодов).

Итоговые кривые H/V-отношений и соответствующие значения стандартных отклонений получались осреднением индивидуальных H/V-отношений для всех окон. Стандартные отклонения кривых H/V рассчитывались из среднего арифметического логарифмов всех индивидуальных кривых H/V для всех окон по формуле

$$\sigma(\log X) = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\log X_i - \log \langle X \rangle)^2 \right]^{1/2},$$

где X_i – кривая H/V, N – количество кривых, $\langle X \rangle$ – среднее арифметическое значение всех кривых H/V.

Для проверки надежности полученных кривых H/V использовались критерии, разработанные в ходе проекта SESAME [19]:

$$1) f_0 > \frac{10}{l_w};$$

$$2) n_c(f_0) > 200;$$

$$3) \sigma_A(f) < 2 \text{ для } 0,5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0,$$

если $f_0 > 0,5$ Гц.

Здесь f_0 – частота H/V пика; l_w – длина окна; $n_c = l_w \cdot n_w \cdot f_0$; n_w – количество окон для средней кривой H/V; $\sigma_A(f)$ – стандартное отклонение амплитуды $A_{H/V}(f)$; $A_{H/V}(f)$ – H/V амплитуда кривой на частоте f , f – текущая частота.

Результаты и их обсуждение

В результате для 23 сейсмических станций Байкальского филиала ФИЦ «Единая геофизическая служба Российской академии наук» получены кривые H/V, характеризующие амплитудно-частотный состав фоновых микро-

сейсмических колебаний (рис. 2). В силу особенностей регистрирующей аппаратуры (рабочая полоса частот от 0,5 до 10 и 20 Гц в зависимости от прибора – «Байкал-10» и «Байкал-11» соответ-

ственно) надежные определения спектральных характеристик колебаний получены для частотного диапазона от 0,5 до 10 или 20 Гц.

Рис. 2. Примеры стабильных кривых H/V -отношений

1 – кривая H/V , 2 – вариации кривых H/V ;
CIT, CRS и др. – обозначения станций

Fig. 2. Examples of stable H/V ratio curves

1 – H/V curve; 2 – variations of H/V curves;
CIT, CRS etc. – indications of stations

По типу полученных кривых Н/V-отношений сейсмические станции региона можно разделить на две группы. Первая группа – это сейсмические станции с устойчивыми амплитудно-частотными характеристиками микро-сейсмического сигнала, не зависящими от сезона. К этой группе относятся станции BOD, ZAK, KMO, LSTR, MOY, NLYR, OGRR, ORL, TUP, UKT, YLYR, YOA, KPC, CRS, CIT (см. рис. 2).

В целом кривые Н/V-отношений для станций первой группы достаточно простые и представляют собой кривую, осложненную незначительными мало-амплитудными экстремумами. Иногда уровень этих кривых повышается в высокочастотной области, как, например, для станции MOY (см. рис. 2). Такой тип кривой Н/V-отношений отмечается для станций, расположенных непосредственно на выходах коренных (скальных) пород фундамента. Теоретически для таких станций кривая Н/V должна представлять собой прямую с амплитудой, близкой к 1. Полученные нами кривые Н/V-отношений в целом соответствуют этому условию.

Для некоторых станций отмечаются достаточно широкие плавные пики на низких (CRS, YOA) и средних (CIT) частотах. Также для трех станций наблюдается присутствие узких пиков Н/V-кривой, локализованных в частотном диапазоне 5–14 Гц (см. рис. 2).

Ко второй группе относятся станции, для которых получены кривые Н/V-отношений со значительными сезонными вариациями: ARS, IRK, NIZ, SVKR, SYVR, TLY, TRG (рис. 3).

Характер проявления сезонных вариаций на разных станциях заметно отличается. Для некоторых станций отмечаются 1–2 достаточно узких пика на фоне общего незначительного повышения уровня Н/V-кривой для теплого периода (станции SYVR и TRG). Для других станций в летний период наблюда-

ется почти линейный рост Н/V-отношения с частотой (ARS), иногда осложненный пиком в области частот 7–8 Гц (NIZ, TLY). Для станций IRK и SVKR кривая Н/V для теплого периода во всем рассматриваемом частотном диапазоне превышает кривую для холодного периода, в целом сохраняя форму (см. рис. 3).

Для сейсмической станции KAB получена очень нестабильная кривая Н/V: отношения амплитуд горизонтальных и вертикальной компонент в области низких частот (менее 2,5 Гц) варьируются в течение суток в пределах 1–11,8, что послужило причиной исключения этой станции из рассмотрения сезонных колебаний.

Известно, что источником микро-сейсмических колебаний могут быть как экзогенные (морские волны, приливы, атмосферные циклоны, ветер, деятельность человека), так и эндогенные (процессы трещинообразования, смещение горных пород, перестройкой структур за счет тектонических сил и деформирующих воздействий различной природы) факторы. В Байкальской сейсмической зоне известны и хорошо изучены проявления байкальских микросейсм с периодами 2–3,5 с (частоты 0,25–0,5 Гц) [20]. Значительные суточные вариации амплитуд Н/V-отношений на станции KAB могут объясняться суммарным воздействием прибойных эффектов оз. Байкал и неудачным расположением станции – во впадине, заполненной рыхлыми осадками, с глубоко залегающим фундаментом. Косвенным подтверждением влияния заполнения впадины на амплитудно-частотный состав микросейсм является стабильные кривые Н/V-отношений для станций YOA и CRS, также осложненные пиками в области частот ниже 2,5 и 9 Гц соответственно (см. рис. 2).

Анализ спектров горизонтальных и вертикальных компонент для станций второй группы показывает большее

Рис. 3. Кривые H/V-отношений с сезонными вариациями

1 – кривая H/V в зимний период, 2 – кривая H/V в летний период, 3 – вариации кривых H/V;
ARS, IRK и др. – обозначения станций

Fig. 3. Curves of H/V-ratio with seasonal variations

1 – H/V curve in the winter period, 2 – H/V curve in the summer period, 3 – variations of H/V curves;
ARS, IRK etc. – indications of stations

увеличение амплитуд горизонтальных колебаний относительно вертикальных в летний период. Это увеличение может быть связано с изменением в волновом составе микросейсм в зависимости от

сезонных и техногенных условий. Интересно, что для станций TRG и TLY отмечается также сильное увеличение амплитуд колебаний в направлении север – юг относительно направления во-

сток – запад. В целом общее увеличение амплитуд H/V -отношений в теплые периоды может объясняться сезонным промерзанием и оттаиванием грунтов [21]. В то же время узкие локализованные пики, наблюдающиеся для станций SYVR, TLY и TRG в летние периоды, должны быть вызваны влиянием других факторов.

Помимо появления сезонных пиков для указанных станций обращает на себя внимание наличие локальных пиков H/V -отношений на частотах 5–10 Гц для некоторых станций со стабильными амплитудно-частотными характеристиками микросейсмического фона (LSTR, OGRR, UKT, см. рис. 2). Все шесть станций установлены на выходах коренных пород фундамента, так что наличие пиков не может объясняться локальными грунтовыми условиями. Кроме этого, общим для всех этих станций является их расположение – вблизи или непосредственно в зонах крупных активных разломов (см. рис. 1). Опыт исследований зон разломов методами микросейсмического зондирования показывает, что подобные пики наблюдаются вблизи зон повышенной трещиноватости и дробления с признаками активизации в плиоцен-четвертичное время [22]. Существование пиков H/V -отношений вблизи зон разломов может быть вызвано откликом сейсмического сигнала на прохождение через крупную структурную неоднородность. По-видимому, характерные частоты связаны с размерами и упругими свойствами среды в зоне разлома. Сезонный характер появления этих локальных пиков на кривой H/V -отношений в летний период и их отсутствие в зимний может объясняться тем, что зимой происходит промерзание грунтовых толщ, включая водопроводящие зоны тектонитов разлома, что зна-

чительно меняет упругие свойства среды [21].

Заключение

В результате проведенного исследования методом спектральных H/V -отношений получены амплитудно-частотные характеристики микросейсмического фона для сейсмических станций Байкальской сейсмической зоны и их сезонных вариаций.

Полученные H/V -кривые условно можно разделить на две группы: стабильные и со значительными сезонными вариациями. К первой группе относятся станции с устойчивыми амплитудно-частотными характеристиками микросейсмического сигнала, не зависящими от сезона. Ко второй группе относятся станции, для которых получены кривые H/V -отношений со значительными сезонными вариациями. Для станций второй группы характерно общее увеличение амплитуды H/V -отношений в теплые периоды, что может объясняться сезонным промерзанием и оттаиванием грунтов.

Для шести станций, расположенных в зонах крупных активных разломов, отмечается существование узких локальных пиков в частотном диапазоне 5–15 Гц. Для части станций эти пики наблюдаются постоянно, для остальных имеют сезонный характер, что может объясняться промерзанием и оттаиванием водопроводящих зон тектонитов разлома.

В работе использовались данные непрерывной цифровой регистрации, полученные Байкальским филиалом ФИЦ «Единая геофизическая служба Российской академии наук».

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области (проект № 17–45–388088_р–а).

Библиографический список

1. Borchardt R.D. Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay // *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1970. Vol. 60. P. 29–61.
2. Borchardt R.D., Glassmoyer G. On the characteristics of local geology and their influence on ground motions generated by the Loma Prieta earthquake in the San Francisco Bay region, California // *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1992. Vol. 82. P. 603–641.
3. Andrews D.J. Objective determination of source parameters and similarity of earthquakes of different sizes // *Earthquake Source Mechanics* / ed. S. Das, J. Boatwright, C.H. Scholz. Washington: American Geophysical Union, 1986. P. 259–268.
4. Field E.H., Jacob K.H. The theoretical response of sedimentary layers to ambient seismic noise // *Geophysical Research Letters*. 1993. Vol. 20. P. 2925–2928.
5. Lermo J.F., Chavez-Garcia F.J., Are microtremors useful in site response evaluation? // *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1994. Vol. 84. P. 1350–1364.
6. Drouet S., Chevrot S., Cotton F., Souriau A. Simultaneous Inversion of Source Spectra, Attenuation Parameters, and Site Responses: Application to the Data of the French Accelerometric Network // *Bulletin of the Seismological Society of America*. 2008. Vol. 98. P. 198–219.
7. Langston C.A. Structure under Mount Rainier, Washington, inferred from teleseismic body waves // *Journal of Geophysical Research*. 1979. Vol. 84. P. 4749–4762.
8. Nakamura Y. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface // *Quarterly Report of Railway Technical Research Institute*. 1989. Vol. 30. P. 25–33.
9. Nogoshi M., Igarashi T. On the amplitude characteristics of microtremor (part 2) // *Journal of the Physical Society of Japan*. 1971. Vol. 24. P. 26–40.
10. Field E.H., Jacob K.H. A comparison and test of various site response estimation techniques, including three that are non reference-site dependent // *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1995. Vol. 86. P. 991–1005.
11. Lachet C., Hatzfeld D., Bard P.-Y., Theodulidis N., Papaioannou C., Savvaidis A. Site effects and microzonation in the city of Thessaloniki (Greece): comparison of different approaches // *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1996. Vol. 86. P. 1692–1703.
12. Bonilla L.F., Steidl J.H., Lindley G.T., Tumarkin A.G., Archuleta R.J. Site amplification in the San Fernando Valley, California: variability of site effect estimation using S-wave, coda, and H/V methods // *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1997. Vol. 87. P. 710–730.
13. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / под ред. Н.В. Кондорской, Н.В. Шебалина. М.: Наука, 1977. 536 с.
14. Гордиенко И.В. Металлогения различных геодинамических обстановок Монголо-Забайкальского региона // *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири*. 2014. S3-1. С. 7–13
15. Масальский О.К., Чечельницкий В.В., Гилева Н.А. Современное состояние сейсмических наблюдений в Прибайкалье // *Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: материалы II Междунар. сейсмологической школы* / под ред. В.И. Уткина. Обнинск: Изд-во ГС РАН, 2007. С. 140–144.
16. Солоненко В.П., Хилько С.Д., Хромовских В.С. [и др.]. Сейсмическое районирование Восточной Сибири и его геолого-геофизические основы. Новосибирск: Наука, 1977. 304 с.

17. SESAME group. Final report on measurements guidelines, LGIT Grenoble, CETE Nice, WP02, H/V technique: experimental conditions. 2003 [Электронный ресурс]. URL: http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Delivrables/D08-02_Texte.pdf

18. Chernykh E.N., Dobrynina A.A. Variations of the microseism spectral ratios for Baikal seismic station network // Geophysical Research Abstracts. 2010. Vol. 12. EGU2010-479. [Электронный ресурс]. URL: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2010/EGU2010-479.pdf>

19. Bard P.-Y. Effects of surface geology on ground motion: recent results and remaining issues // 10th European Conference on Earthquake Engineering, Duma (Editor). Rotterdam: Balkema, 1995. P. 305–323.

20. Табулевич В.Н., Дреннова Н.Н., Потапов В.А., Черных Е.Н. Влияние

штормовых микросейсм на проявление сейсмичности в береговой зоне озера Байкал // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 8. С. 1271–1278.

21. Дреннов А.Ф., Джурик В.И., Серебренников С.П., Дреннова Н.Н. Влияние верхней зоны разреза на амплитудно-частотный состав сейсмического сигнала на примере сейсмических станций Прибайкалья и Забайкалья // Сейсмические приборы. 2010. Т. 46. № 2. С. 15–25.

22. Sankov A.V., Dobrynina A.A., Chernykh E.N., Sankov V.A., Shagun A.N. Investigation of the boundary and internal fault zones of Tunka basin (Baikal rift system) using HVSR method // Proceedings of the International Conference on Astronomy and Geophysics in Mongolia. Ulaanbaatar, Mongolia, 20–22 July 2017. Ulaanbaatar: Mongol Altay printing CoLtd, 2017. P. 231–234.

References

1. Borchardt R.D. Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay. Bulletin of the Seismological Society of America, 1970, vol. 60, pp. 29–61.

2. Borchardt R.D., Glassmoyer G. On the characteristics of local geology and their influence on ground motions generated by the Loma Prieta earthquake in the San Francisco Bay region, California. Bulletin of the Seismological Society of America, 1992, vol. 82, pp. 603–641.

3. Andrews D.J. Objective determination of source parameters and similarity of earthquakes of different sizes. Earthquake Source Mechanics. Washington: American Geophysical Union, 1986, pp. 259–268.

4. Field E.H., Jacob K.H. The theoretical response of sedimentary layers to ambient seismic noise. Geophysical Research Letters, 1993, vol. 20, pp. 2925–2928.

5. Lermo J.F., Chavez-Garcia F.J., Are microtremors useful in site response evaluation? Bulletin of the Seismological Society of America, 1994, vol. 84, pp. 1350–1364.

6. Drouet S., Chevrot S., Cotton F., Souriau A. Simultaneous Inversion of Source Spectra, Attenuation Parameters, and Site Responses: Application to the Data of the French Accelerometric Network. Bulletin of the Seismological Society of America, 2008, vol. 98, pp. 198–219.

7. Langston C.A. Structure under Mount Rainier, Washington, inferred from teleseismic body waves. Journal of Geophysical Research, 1979, vol. 84, pp. 4749–4762.

8. Nakamura Y. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quarterly Report of Railway Technical Research Institute, 1989, vol. 30, pp. 25–33.

9. Nogoshi M., Igarashi T. On the amplitude characteristics of microtremor (part 2). Journal of the Physical Society of Japan, 1971, vol. 24, pp. 26–40.

10. Field E.H., Jacob K.H. A comparison and test of various site response estimation techniques, including three that are non reference-site dependent. Bulletin of

the Seismological Society of America, 1995, vol. 86, pp. 991–1005.

11. Lachet C., Hatzfeld D., Bard P.-Y., Theodulidis N., Papaioannou C., Savvaidis A. Site effects and microzonation in the city of Thessaloniki (Greece): comparison of different approaches. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1996, vol. 86, pp. 1692–1703.

12. Bonilla L.F., Steidl J.H., Lindley G.T., Tumarkin A.G., Archuleta R.J. Site amplification in the San Fernando Valley, California: variability of site effect estimation using S-wave, coda, and H/V methods. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1997, vol. 87, pp. 710–730.

13. Kondorskaya N.V., Shebalin N.V. *Novyi katalog sil'nykh zemletryasenii na territorii SSSR s drevneishikh vremen do 1975 g.* [A new catalog of strong earthquakes on the territory of the USSR from ancient times to 1975]. Moscow: Nauka Publ., 1977, 536 p. (In Russian).

14. Gordienko I.V. Metallogeny of various geodynamic settings in the Mongol-Transbaikalia region. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri* [Geology and mineral resources of Siberia], 2014, vol. S3-1, pp. 7–13. (In Russian).

15. Masal'skii O.K., Chechel'nitskii V.V., Gileva N.A. *Sovremennoe sostoyanie seismicheskikh nablyudenii v Pribaikal'e* [Current state of seismic observations in the Baikal region]. *Materialy II Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly "Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh"* [Materials of the Second International Seismological School: Modern methods of seismological data processing and interpretation]. Obninsk: Geophysical Survey RAS Publ., 2007, pp. 140–144. (In Russian).

16. Solonenko V.P., Khil'ko S.D., Khromovskikh V.S. *Seismicheskoe raionirovanie Vostochnoi Sibiri i ego geologo-geofizicheskie osnovy* [Seismic zoning of Eastern Siberia and its geological and geo-

physical foundations]. Novosibirsk: Nauka, 1977, 304 p. (In Russian).

17. SESAME group. Final report on measurements guidelines, LGIT Grenoble, CETE Nice, WP02, H/V technique: experimental conditions, 2003. Available at: http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Delivrables/D08-02_Texte.pdf

18. Chernykh E.N., Dobrynina A.A. Variations of the microseism spectral ratios for Baikal seismic station network. *Geophysical Research Abstracts*, 2010, vol. 12, EGU2010-479. Available at: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2010/EGU2010-479.pdf>

19. Bard P.-Y. Effects of surface geology on ground motion: recent results and remaining issues. 10th European Conference on Earthquake Engineering, Duma (Editor). Rotterdam: Balkema, 1995, pp. 305–323.

20. Tabulevich V.N., Drennova N.N., Potapov V.A., Chernykh E.N. The effect of storm microseisms on seismicity manifestation in the coastal zone of lake Baikal. *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics]. 2001, vol. 42, no. 8, pp. 1271–1278. (In Russian).

21. Drennov A.F., Dzhurik V.I., Serebrennikov S.P., Drennova N.N. Influence of the upper section on the amplitude-frequency content of a seismic signal by the example of seismic stations in Pribaikalye and Trans-Baikal area. *Seismicheskie pribory* [Seismic Instruments], 2010, vol. 46, no. 2. pp. 15–25. (In Russian).

22. Sankov A.V., Dobrynina A.A., Chernykh E.N., Sankov V.A., Shagun A.N. Investigation of the boundary and internal fault zones of Tunka basin (Baikal rift system) using HVSR method. *Proceedings of the International Conference on Astronomy and Geophysics in Mongolia*. Ulaanbaatar, Mongolia, 20–22 July 2017. Ulaanbaatar: Mongol Altay printing Co Ltd, 2017, pp. 231–234.

Критерии авторства

Добрынина А.А., Саньков А.В., Шагун А.Н. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Authorship criteria

Dobrynina A.A., Sankov A.V., Shagun A.N. have written the article, have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.