

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 Институт земной коры СО РАН,
664033, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128
Геологический институт СО РАН,
670047, Российская Федерация, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а

^б Институт земной коры СО РАН,
664033, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128

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

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 (Н/V-отношения) или метод Накамуры [1]. В качестве исходного анализируемого материала использовались записи непрерывной сейсмической регистрации, полученные 23 короткопериодными сейсмическими станциями Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН, 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 часа. **Результаты.** В результате были получены кривые Н/V-отношений и их сезонные вариации, характеризующие амплитудно-частотный состав фоновых микросейсмических колебаний в частотном диапазоне от 0,5 до 10,0 или 20,0 Гц в зависимости от типа регистрирующей аппаратуры. **Выводы.** Полученные кривые Н/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, независимыми от сезона. Ко второй группе относятся станции, для которых получены кривые Н/V-отношений со значительными сезонными вариациями. Сопоставление по-

^а Добрынина Анна Александровна, старший научный сотрудник, e-mail: dobrynina@crust.irk.ru
Anna A. Dobrynina, Senior Researcher, e-mail: dobrynina@crust.irk.ru

^б Саньков Алексей Владимирович, ведущий инженер, e-mail: alekseysankov@inbox.ru
Alexey V. Sankov, Leading Engineer, e-mail: alekseysankov@inbox.ru

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

ложения 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

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

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

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

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

ABSTRACT. Purpose. 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's method was used. The original material used was the continuous seismic recording records obtained by 23 short-period seismic stations of the Baikal Branch of Geophysical Survey of Russian academy of science located in the Baikal seismic zone. To exclude possible random errors related to human-made noise, earthquakes, industrial explosions, etc., long segments of seismic records with a duration of at least 1 hour were selected for analysis. **Results.** As a result, the H/V-ratios and their seasonal variations were obtained, characterizing 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 recording equipment. **Conclusions.** The obtained H/V-ratio curves can be conditionally divided into two groups: stable and with significant seasonal variations. The first group includes stations with stable amplitude-frequency characteristics of the microseismic signal, independent of the season. The second group includes the stations for which the H/V-ratio curves were obtained with significant seasonal variations. A comparison of the position of the seismic stations and the obtained H/V-ratio curves showed the existence of a dependence of the amplitude-frequency characteristics of the microseismic signal on their local conditions in the station setup area (at the bedrock, in the zone of large active faults or in rift depressions with a powerful sedimentary cover).

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

Введение

Многочисленные исследования последствий сильных и катастрофических землетрясений показали, что поверхностный осадочный слой может значительно усиливать проходящие сейсмические волны, что вызывает дополнительные разрушения [2, 3 и др.]. В связи с этим, расчет влияния геологической среды на сейсмический сигнал является непременной составной частью всех работ по сейсмическому микрорайонированию областей с умеренной и высокой сейсмической активностью.

К настоящему времени разработан целый ряд методов для оценки амплитудно-частотных характеристик верхней части разреза [2, 4–7 и др.]. Наиболее часто применяется метод стандартных спектральных отношений [2, 7 и др.], согласно которому отклик среды на сигнал находится через отношения спектров землетрясений, записанных в исследуемом районе и на опорной станции, установленной на коренных породах. Часто используется метод одновременной инверсии, применяющийся для определения эффектов источника, пути распространения сигнала и отклика среды под станцией [4, 7 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) [8], так и для микросейсм (метод Накамуры) [1, 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, 14 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 [1].

1. Район исследования

Байкальская сейсмическая зона (БСЗ) 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.

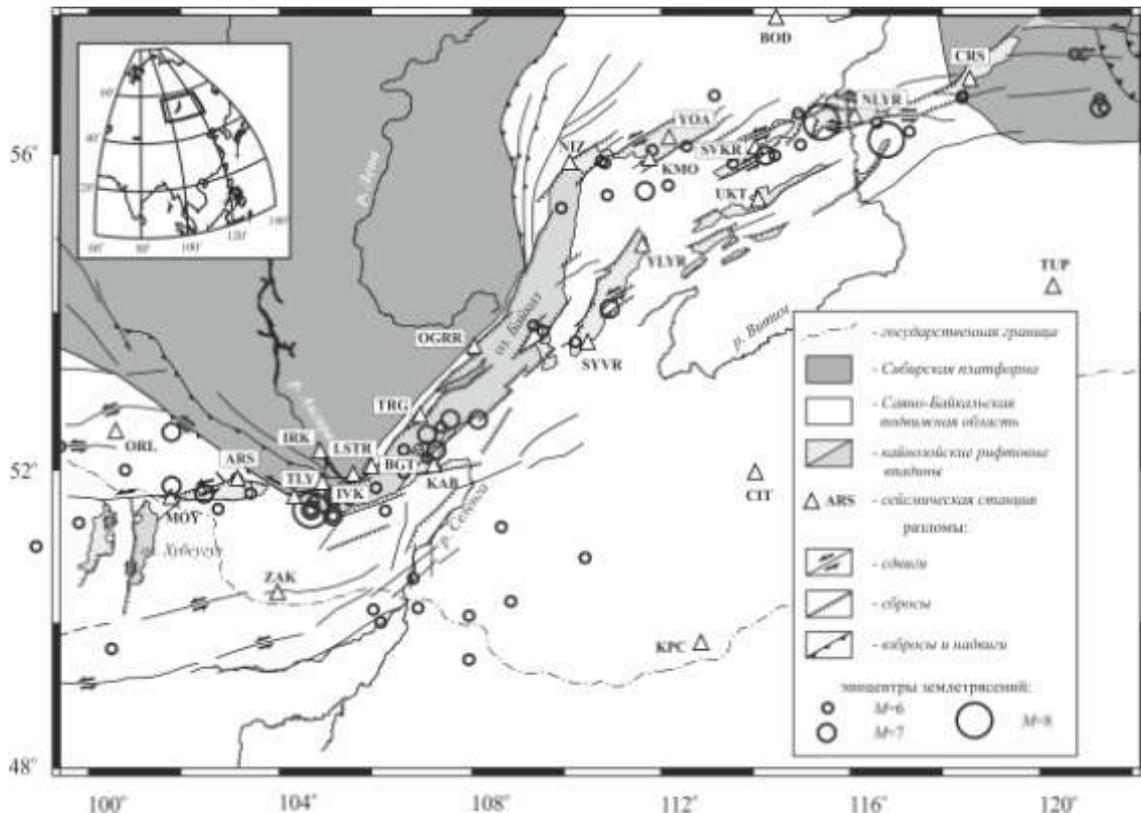


Рис. 1. Неотектоническая схема Байкальской сейсмической зоны:
на врезке показано положение изучаемого района.

Fig. 1. Neotectonic scheme of the Baikal seismic zone:
the inset shows the position of the studied area.

Байкальская сейсмическая зона является одним из наиболее сейсмически активных регионов России: за период инструментальных сейсмологических наблюдений (с 1950 г.) на ее территории произошло 13 землетрясений с магнитудой $M_s \geq 6,0$; согласно историческим данным в регионе отмечались события с магнитудой до 8,2 [15]. 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 БСЗ ведется Байкальским филиалом ФИЦ ЕГС РАН. Региональная сеть сейсмических станций (международный код BAGSR [16]) состоит из 25 станций (см. рис. 1), оборудованных цифровой сейсмической аппаратурой типа «Байкал-10, 11», разработанной в ГС СО РАН. Комплект аппаратуры имеет три короткопериодных сейсмометрических канала повышенной чувствительности (сейсмометры СМ-3, СМ-3КВ), регистрирующие скорости колебаний, от 0,01–0,10 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 [16].

Сейсмическая станция Иркутск 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), Хапчеранга (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), 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), Неяты (NLYR), Чара (CRS), Уакит (UKT) находятся в рифтовых впадинах, заполненных рыхлыми кайнозойскими осадками, мощность которых достигает 2300–2800 м (Тункинская, Баргузинская, Верхнеангарская, Муйская и Чарская впадины) [17]. Станций IVK и BGT в настоящей работе не рассматриваются из-за высокого уровня станционных помех.

2. 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 [1]. Технология использования H/V-отношений для расчета отклика среды на сейсмический сигнал впервые была предложена в работе [9] и позже популяризована Накамурой [1]. Данный метод эффективно используется для расчета как фундаментальных периодов [5], так и соответствующих коэффициентов усиления колебаний [6].

Спектры микросейсмических колебаний и H/V-отношения рассчитывались с использованием программы SESAME [18]. Чтобы избежать случайных ошибок (техногенные помехи, транспорт, землетрясения, взрывы, погодные условия и др.) брался отрезок записи длительностью не менее 1 часа. Для этого участка записи выбиралось несколько десятков окон (длинной не более 30 секунд) так, чтобы избежать попадания в анализируемых участок записи случайных «выбросов».

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 которых отношение STA/LTA лежало в пределах 0,5–2,0 (здесь STA и LTA – средние уровни амплитуды сигналов для короткого (1 сек) и длинного (25 сек) 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 рассчиты-

вались из среднего арифметического логарифмов всех индивидуальных кривых Н/V для всех окон по формуле:

$$\sigma_{\log X} = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \log X_i - \log \langle X \rangle \right]^2 \Bigg]^{1/2}$$

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

- 1) $f_0 > \frac{10}{l_w}$;
- 2) $n_c(f_0) > 200$;
- 3) $\sigma_A(f) < 2$ для $0,5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$, если $f_0 > 0,5$ Гц.

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

3. Результаты и их обсуждение

В результате для 23 сейсмических станций Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН получены кривые Н/V, характеризующие амплитудно-частотный состав фоновых микросейсмических колебаний (рис. 2). В силу особенностей регистрирующей аппаратуры (рабочая полоса частот от 0,5 до 10,0 и 20,0 Гц в зависимости от прибора – «Байкал–10» и «Байкал–11», соответственно) надежные определения спектральных характеристик колебаний получены для частотного диапазона от 0,5 до 10,0 или 20,0 Гц.

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 микросейсмического сигнала, независимыми от сезона. К этой группе относятся станции Бодайбо, Закаменск, Кумора, Листвянка, Монды, Неляты, Онгурены, Орлик, Тупик, Уакит, Улюнхан, Уоян, Хапчеранга, Чара, Чита (см. рис. 2).

В целом, кривые Н/V-отношений для станций первой группы достаточно простые и представляют собой кривую, осложненную незначительными малоамплитудными экстремумами. Иногда уровень этих кривых повышается в высокочастотной области. 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, удовлетворяют этому условию.

Для некоторых станций отмечаются достаточно широкие плавные пики на низких (Чара, Уоян) и средних частотах (Чита). Также, для трех

станций наблюдается присутствие узких пиков H/V -кривой, локализованных в частотном диапазоне 5-14 Гц (см. рис. 2).

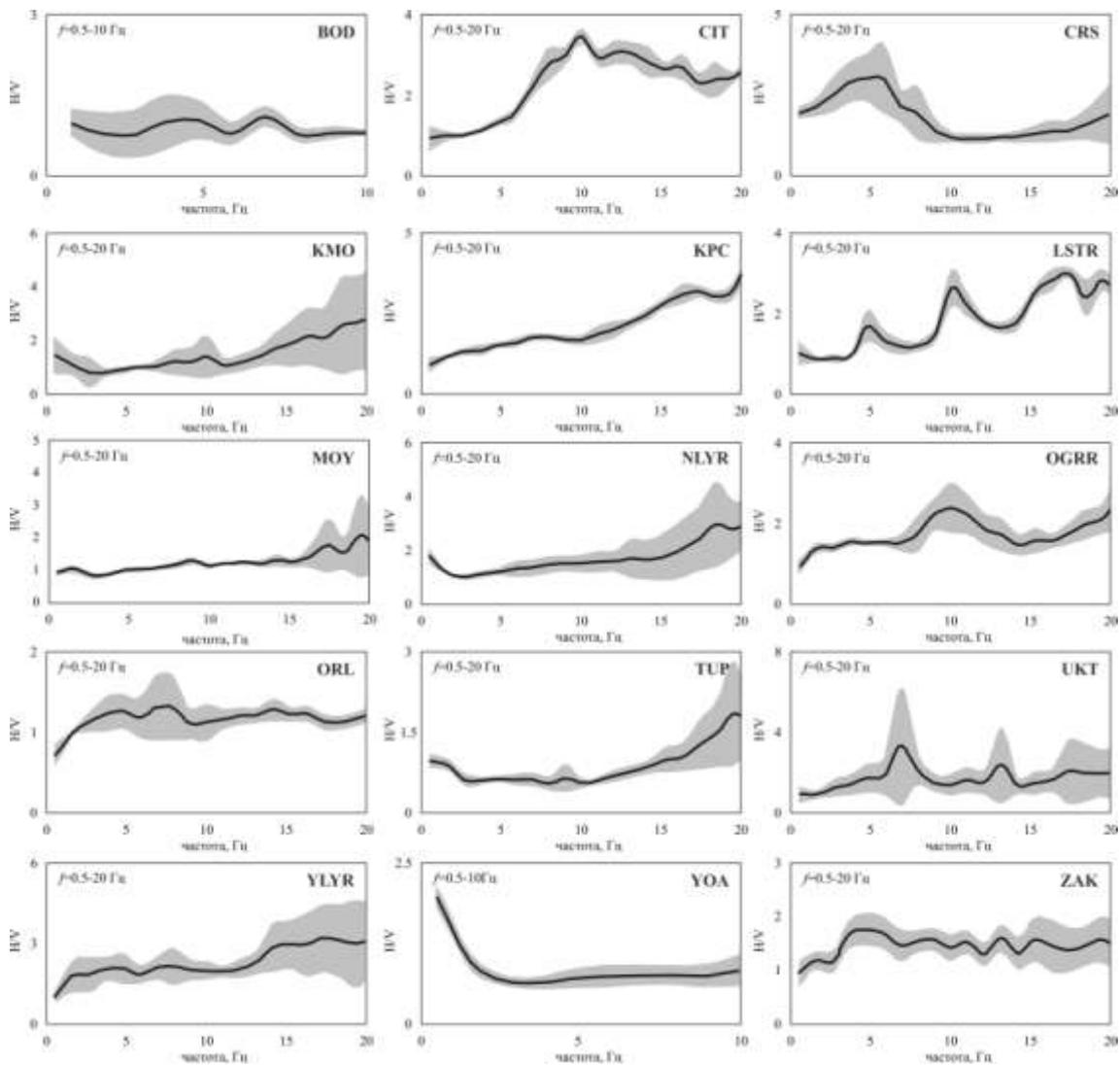


Рис. 2. Стабильные кривые H/V -отношений:

для каждой станции дана полоса рабочих частот, серым показаны вариации кривой.

Fig. 2. Stable H/V ratios:

a working frequency is given for each station, the H/V -variations are shown by gray.

Ко второй группе относятся станции, для которых получены кривые H/V -отношений со значительными сезонными вариациями: Аршан, Иркутск, Нижнеангарск, Северомуйск, Суво, Талая, Тырган (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 H/V -кривой для теплого периода (станции Суво и Тырган). Для других станций в летний период наблюдается почти линейный рост H/V -отношения с частотой (Аршан), иногда осложненный пиком в области частот 7–8 Гц (Нижнеан-

гарск, Талая). Для станций Иркутск и Северомуйск кривая H/V для теплого периода во всем рассматриваемом частотном диапазоне превышает кривую для холодного периода, в целом, сохраняя форму (см. рис. 3).

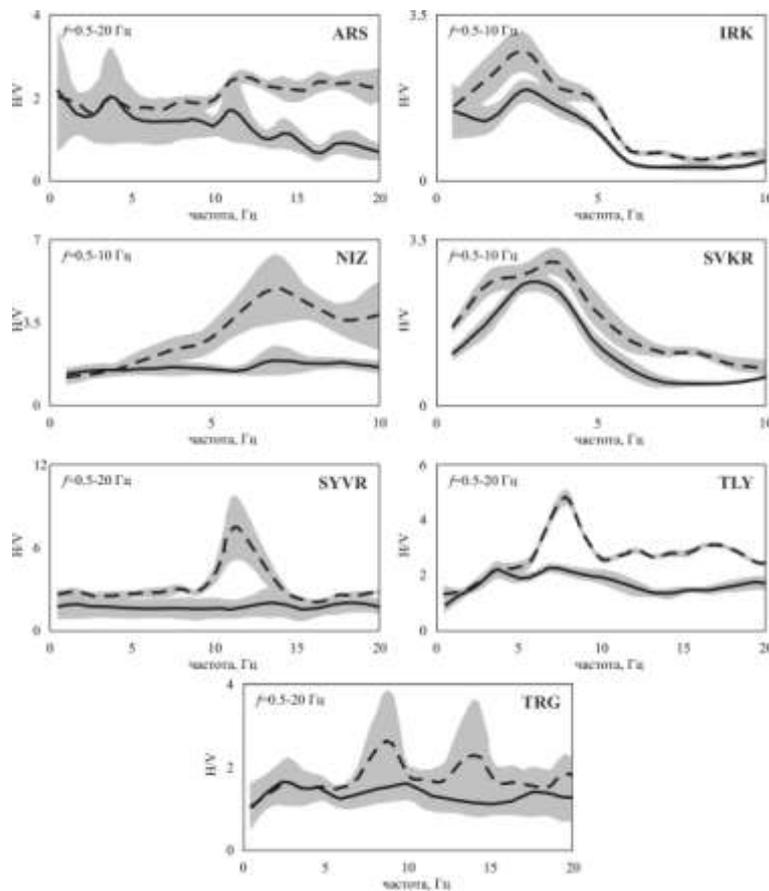


Рис. 3. Кривые H/V -отношений с сезонными вариациями:
сплошной линией показаны кривые H/V за зимний период, пунктирной – за летний период; для каждой станции дана полоса рабочих частот, серым показаны вариации кривой.

Fig. 3. H/V -ratios with seasonal variations:
the solid line shows the curves H/V for the winter period, dotted for the summer period; a working frequency is given for each station, the H/V -variations are shown by gray.

Для сейсмической станции Кабанск получена очень нестабильная кривая H/V : отношения амплитуд горизонтальных и вертикальной компонент в области низких частот (менее 2,5 Гц) варьируются в течение суток в пределах 1,0–11,8.

Известно, что источником микросейсмических 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 2,0–3,5 с (частоты 0,25–0,50 Гц) [19]. Значи-

тельные суточные вариации амплитуд H/V -отношений на станции Кабанск 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 являются стабильные кривые H/V -отношений для станций Уоян и Чара, также осложненные пиками в области частот ниже 2,5 и 9 Гц, соответственно (см. рис. 2).

Анализ спектров горизонтальных и вертикальных компонент для станций 2 группы показывает большее 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 Тырган и Талая отмечается также сильное увеличение амплитуд колебаний в направлении север–юг относительно направления восток–запад. В целом, общее увеличение амплитуд H/V -отношений в теплые периоды может объясняться сезонным промерзанием и оттаиванием грунтов [20]. В то же время узкие локализованные пики, наблюдающиеся для станций Суво, Талая и Тырган 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 (Листвянка, Онгурены, Уакит, 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 [21]. 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 в зимой происходит промерзание грунтовых толщ, включая водопроводящие зоны тектонитов разлома, что значительно меняет упругие свойства среды.

Заключение

В результате проведенного исследования методом спектральных H/V -отношений получены амплитудно-частотные характеристики микросейс-

мического фона для сейсмических станций Байкальской сейсмической зоны и их сезонных вариаций.

Полученные Н/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, независимыми от сезона. Ко второй группе относятся станции, для которых получены кривые Н/V-отношений со значительными сезонными вариациями.

Для станций второй группы характерно общее увеличение амплитуды Н/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 ЕГС РАН.

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

Библиографический список

1. Nakamura Y. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface // QR Railw. Tech. Res. Inst. 1989. Vol. 30. P. 25–33.
2. Borchardt R.D. Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay // Bull. Seism. Soc. Am. 1970. Vol. 60. P. 29–61.
3. 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 // Bull. Seism. Soc. Am. 1992. Vol. 82. P. 603–641.
4. Andrews D.J. Objective determination of source parameters and similarity of earthquakes of different sizes // In: Das S., Boatwright J., Scholz C. H. (Editors). Earthquake Source Mechanics, American Geophysical Union, Washington D.C., 1986. P. 259–268.
5. Field E.H., Jacob K.H. The theoretical response of sedimentary layers to ambient seismic noise // Geophys. Res. Lett. 1993. Vol. 20. P. 2925–2928.
6. Lermo J.F., Chavez-Garcia F.J., Are microtremors useful in site response evaluation? // Bull. Seism. Soc. Am. 1994. Vol. 84. P. 1350–1364.
7. Drouot S., Chevrot S., Cotton F., Souriau A. Simultaneous Inversion of Source Spectra, Attenuation Parameters, and Site Responses: Applica-

tion to the Data of the French Accelerometric Network // *Bull. Seism. Soc. Am.* 2008. Vol. 98. P. 198–219.

8. Langston C.A. Structure under Mount Rainier, Washington, inferred from teleseismic body waves // *J. Geophys. Res.* 1979. Vol. 84. P. 4749–4762.

9. Nogoshi M., Igarashi T. On the amplitude characteristics of microtremor (part 2) // *J. Seism. Soc. Jpn.* 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 // *Bull. Seism. Soc. Am.* 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 // *Bull. Seism. Soc. Am.* 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 // *Bull. Seism. Soc. Am.* 1997. Vol. 87. P. 710–730.

13. Parolai S., Richwalski S.M. The importance of converted waves in comparing H/V and RSM site responses // *Bull. Seism. Soc. Am.* 2004. Vol. 94. P. 304–313.

14. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Под редакцией Н.В. Кондорской, Н.В. Шибалина. – М.: Наука, 1977. 536 с.

15. Масальский О.К., Чечельницкий В.В., Гилева Н.А. Современное состояние сейсмических наблюдений в Прибайкалье // *Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы Второй международной сейсмологической школы.* Под редакцией В. И. Уткина. Обнинск: ГС РАН, 2007. С. 140–144.

16. 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. http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Delivrables/D08-02_Texte.pdf

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

19. Табулевич В.Н., Дреннова Н.Н., Потапов В.А., Черных Е.Н. // *Геология и геофизика.* 2001. Т. 42. С.1271–1278.

20. 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. С. 48–58.

21. 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. Nakamura Y. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface // QR Railw. Tech. Res. Inst. 1989. Vol. 30. P. 25–33.
2. Borchardt R.D. Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay // Bull. Seism. Soc. Am. 1970. Vol. 60. P. 29–61.
3. 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 // Bull. Seism. Soc. Am. 1992. Vol. 82. P. 603–641.
4. Andrews D.J. Objective determination of source parameters and similarity of earthquakes of different sizes // In: Das S., Boatwright J., Scholz C. H. (Editors). Earthquake Source Mechanics, American Geophysical Union, Washington D.C., 1986. P. 259–268.
5. Field E.H., Jacob K.H. The theoretical response of sedimentary layers to ambient seismic noise // Geophys. Res. Lett. 1993. Vol. 20. P. 2925–2928.
6. Lermo J.F., Chavez-Garcia F.J., Are microtremors useful in site response evaluation? // Bull. Seism. Soc. Am. 1994. Vol. 84. P. 1350–1364.
7. Drouot 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 // Bull. Seism. Soc. Am. 2008. Vol. 98. P. 198–219.
8. Langston C.A. Structure under Mount Rainier, Washington, inferred from teleseismic body waves // J. Geophys. Res. 1979. Vol. 84. P. 4749–4762.
9. Nogoshi M., Igarashi T. On the amplitude characteristics of microtremor (part 2) // J. Seism. Soc. Jpn. 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 // Bull. Seism. Soc. Am. 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 // Bull. Seism. Soc. Am. 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 Ferdinando Valley, California: variability of site effect estimation using S-wave, coda, and H/V methods // Bull. Seism. Soc. Am. 1997. Vol. 87. P. 710–730.

13. Parolai S., Richwalski S.M. The importance of converted waves in comparing H/V and RSM site responses // Bull. Seism. Soc. Am. 2004. Vol. 94. P. 304–313.

14. Kondorskaya N.V., Shebalin N.V. *Novyj katalog sil'nyh zemletryasenij na territorii SSSR s drevnejshih vremen do 1975 g.* [A new catalog of strong earthquakes on the territory of the USSR from ancient times to 1975]. M.: Nauka, 1977. 536 p. (In Russian).

15. Masalskiy O.K., Chechel'nitsky V.V., Gileva N.A. Current state of seismic observations in the Baikal region. *Materialy Vtoroj mezhdunarodnoj seismologicheskoy shkoly "Sovremennye metody obrabotki i interpretacii seismologicheskikh dannyh"* [Materials of the Second International Seismological School: Modern methods of processing and interpreting seismological data:]. 13–17 August, 2007. Obninsk, 2007, pp. 140-144. (In Russian).

16. Solonenko V.P. *Seismicheskoe rajonirovanie Vostochnoj Sibiri i ego geologo-geofizicheskie osnovy* [Seismic zoning of Eastern Siberia and its geological and geophysical 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. http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Delivrables/D08-02_Texte.pdf

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

19. Tabulevich V.N., Drennova N.N., Potapov V.A., Chernyh E.N. The effect of storm microseisms on the manifestation of seismicity in the coastal zone of the lake Baikal. *Vliyanie shtormovyh mikrozejsm na proyavlenie sejsmichnosti v beregovoj zone oz. Bajkal* [Russian geology and geophysics], 2001, vol. 42, pp. 1271–1278. (In Russian).

20. Drennov A.F., Dzhurik V.I., Serebrennikov S.P., Drennova N.N. Influence of the upper zone of the cut on the amplitude-frequency composition of the seismic signal on the example of seismic stations of the Baikal and Transbaikalia. *Vliyanie verhnej zony razreza na amplitudno-chastotnyj sostav sejsmicheskogo signala na primere sejsmicheskikh stancij Pribajkal'ya i Zabajkal'ya* [Seismic instruments], 2010, vol. 46, pp. 48-58.

21. 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.

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.

Дата _____ / Добрынина А.А.

Дата _____ / Саньков А.В.

Дата _____ / Шагун А.Н.

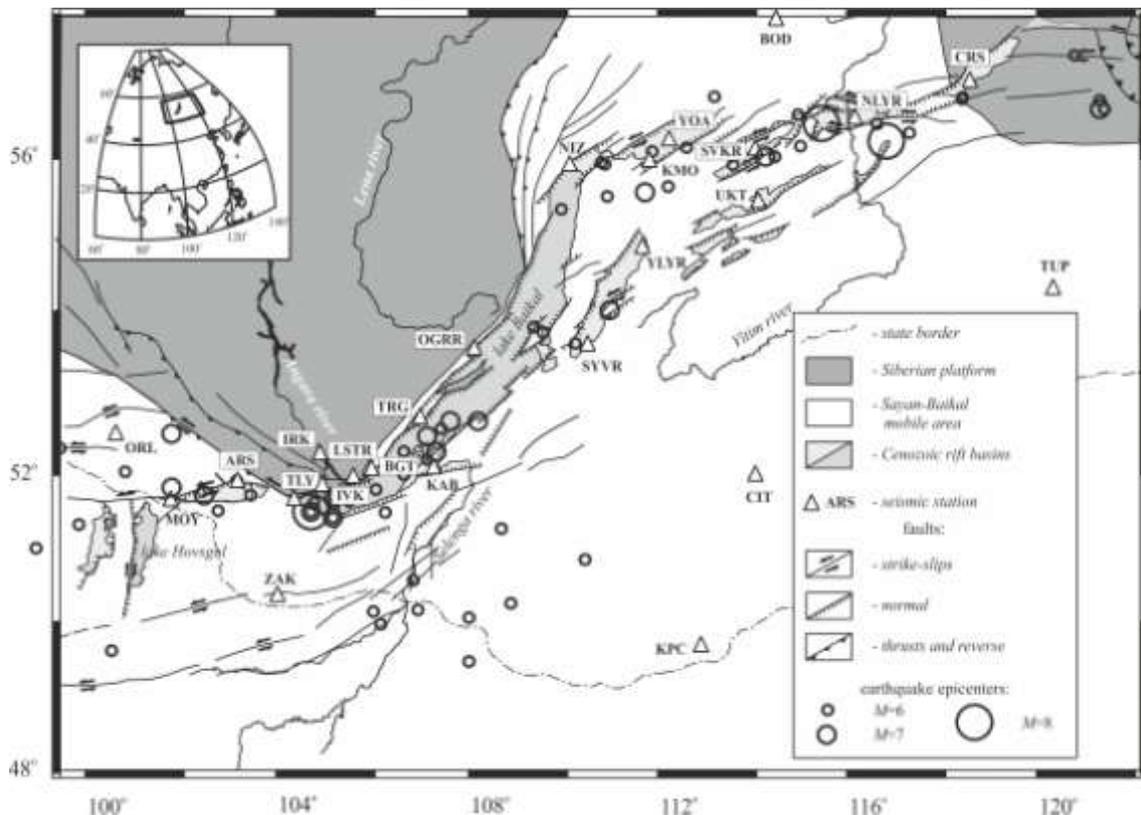


Fig. 1. Neotectonic scheme of the Baikal seismic zone: the inset shows the position of the studied area.

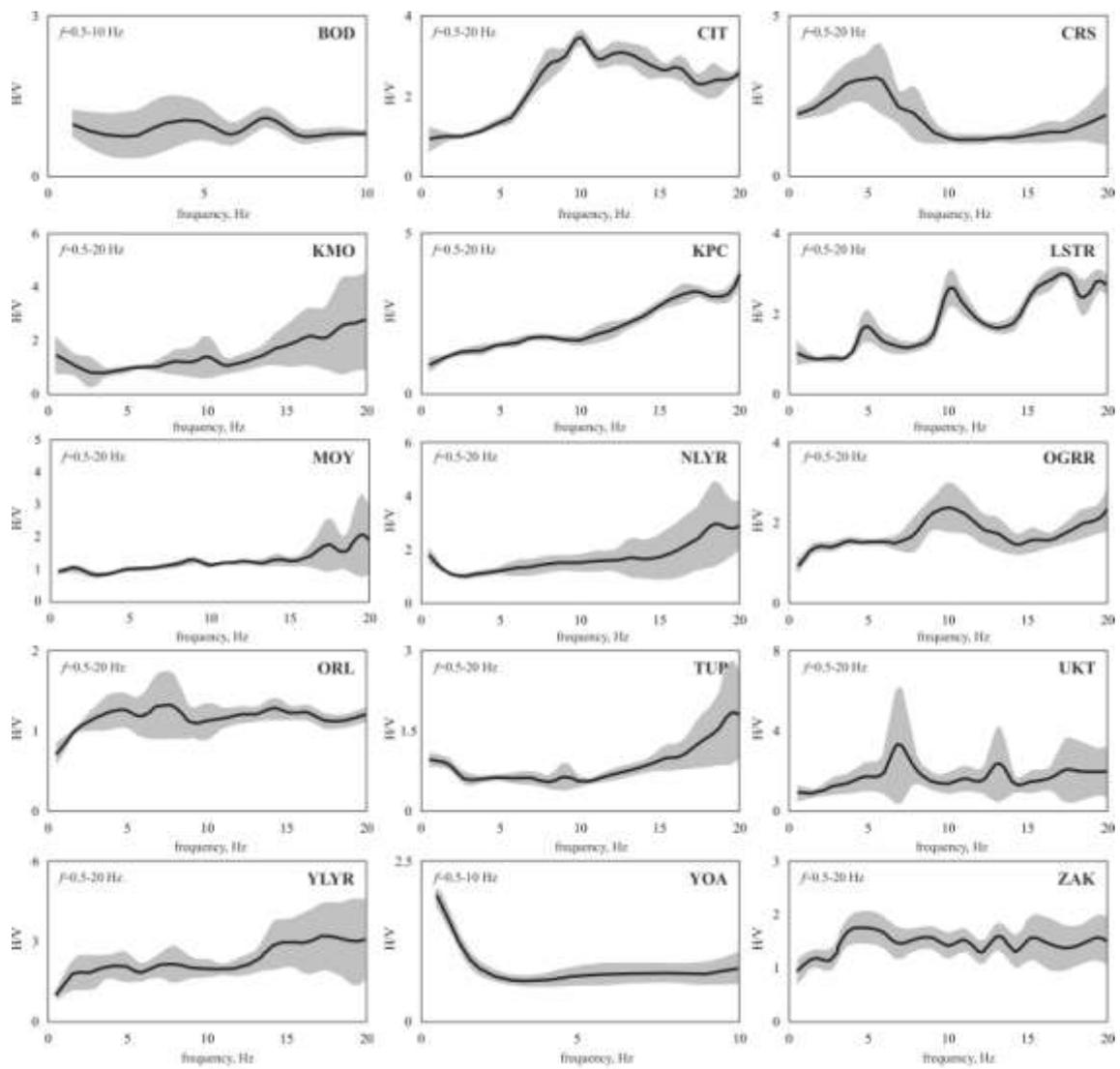


Fig. 2. Stable H/V ratios:
a working frequency is given for each station, the H/V-variations are shown by gray.

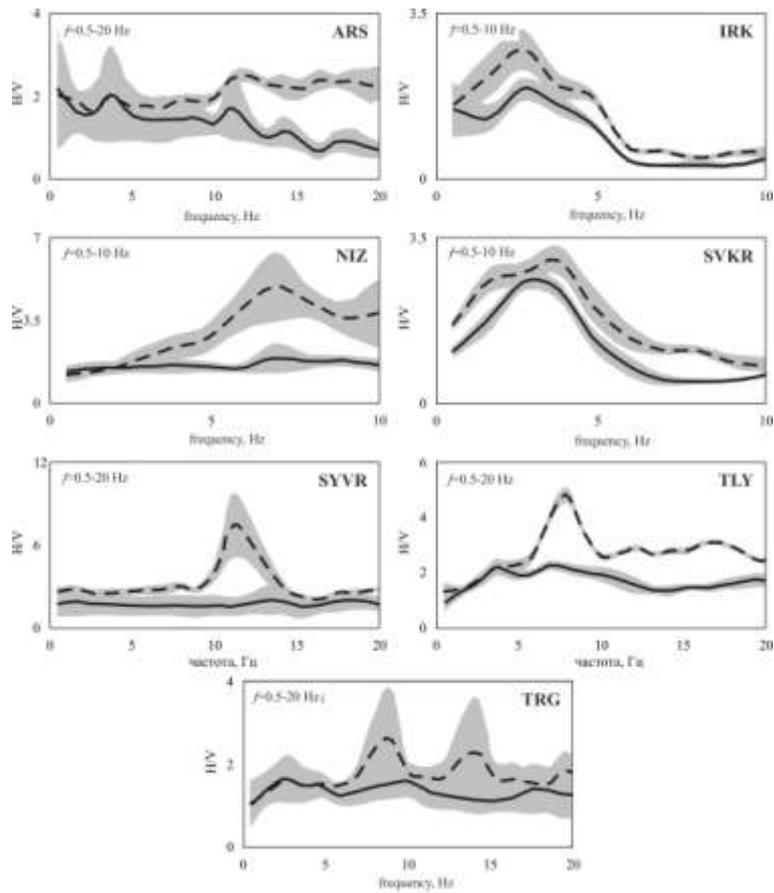


Fig. 3. H/V-ratios with seasonal variations:
the solid line shows the curves H/V for the winter period, dotted for the summer period; a working frequency is given for each station, the H/V-variations are shown by gray.