

УДК 550.34.034

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «ПЕТРОЗАВОДСК»

А. В. Климовский, В. А. Мещерякова, А. А. Лебедев

Институт геологии Карельского научного центра РАН

Работа посвящена оценке возможности регистрации сейсмических событий, исследованию спектральной плотности мощности шума (СПМ) и его суточных изменений в районе расположения сейсмической станции «Петрозаводск» (PTRZ), установленной в пределах Онежской структуры Фенноскандинавского щита. Оценка влияния шума на сейсмическую запись необходима для надежного выделения сейсмических событий различной силы и удаленности. Полученные спектральные характеристики шума учитываются при первичной обработке записи события с целью точного выделения полезного сигнала.

Ключевые слова: сейсмология; сейсмические станции на докембрийском щите; спектр плотности мощности шума; модели низкого и высокого шума; модели Петерсона.

A. V. Klimovskii, V. A. Meshcheryakova, A. A. Lebedev. DYNAMIC FEATURES OF “PETROZAVODSK” SEISMIC STATION

The paper is devoted to the estimability and recordability of seismic events, namely the research of the noise power spectral density (PSD) and its diurnal variation around “Petrozavodsk” seismic station (PTRZ), located within the Onega structure of the Fennoscandian Shield. The estimation of the noise effect on the seismic record is needed for a reliable determination of strength and distance of different seismic events. The seismic noise spectral features should be taken into account during the primary event record processing for the accurate useful signal extraction.

Keywords: Seismology; seismic stations; Precambrian shield; spectrum of the noise power density; high- and low-noise models; Peterson models.

Введение

Территория Фенноскандинавского щита, несмотря на слабую сейсмичность, представляет интерес для регистрации удаленных событий, мониторинга техногенной сейсмичности и анализа современных геодинамических движений. На регистрацию событий влияют особенности геологического строения и современный тектонический режим. Цель работы заключалась в получении графиков спектра плотности

мощности шума и анализе спектральных характеристик шума сейсмической станции «Петрозаводск», расположенной в пределах Онежской структуры.

Геологическое строение и геодинамическая характеристика исследуемого района

С геологической точки зрения исследуемая область расположена на территории

Карельского кратона Фенноскандинавского щита, сложенного гранито-гнейсовыми и гранит-зеленокаменными комплексами архейского фундамента, на которых с угловым несогласием залегают вулканогенно-осадочные отложения нижнепротерозойского протоплатформенного чехла [Соколов, 1987]. В его пределах выделены две категории структурных зон и соответствующих им кинематических обстановок [Леонов и др., 2001]:

- дугообразные линейные зоны сплющивания и нагнетания, линейные зоны тектонического течения, зоны купольно-сдвигового тектогенеза;
- широкие синклинальные структуры, относительно изометричные или имеющие форму линзы, неправильного треугольника, трапеции.

В центральной части кратона главную структурную позицию занимает система сдвиговых зон северо-западного и субмеридионального простирания. Согласно с этими сдвиговыми зонами находятся тектонические депрессии, сохранившиеся в современном эрозионном срезе в виде мульдообразных структур. Примером подобных форм является Онежская структура, которая расположена на юге Карельского кратона и представляет собой один из важнейших тектонических элементов не только самого кратона, но и Фенноскандинавского щита в целом (рис. 1).

Наиболее широкое и детальное ее описание представлено в монографии «Онежская палеопротерозойская структура» [Леонов и др., 2001].

Онежская структура (ОС) представляет собой сложнопостроенный сегмент земной коры,

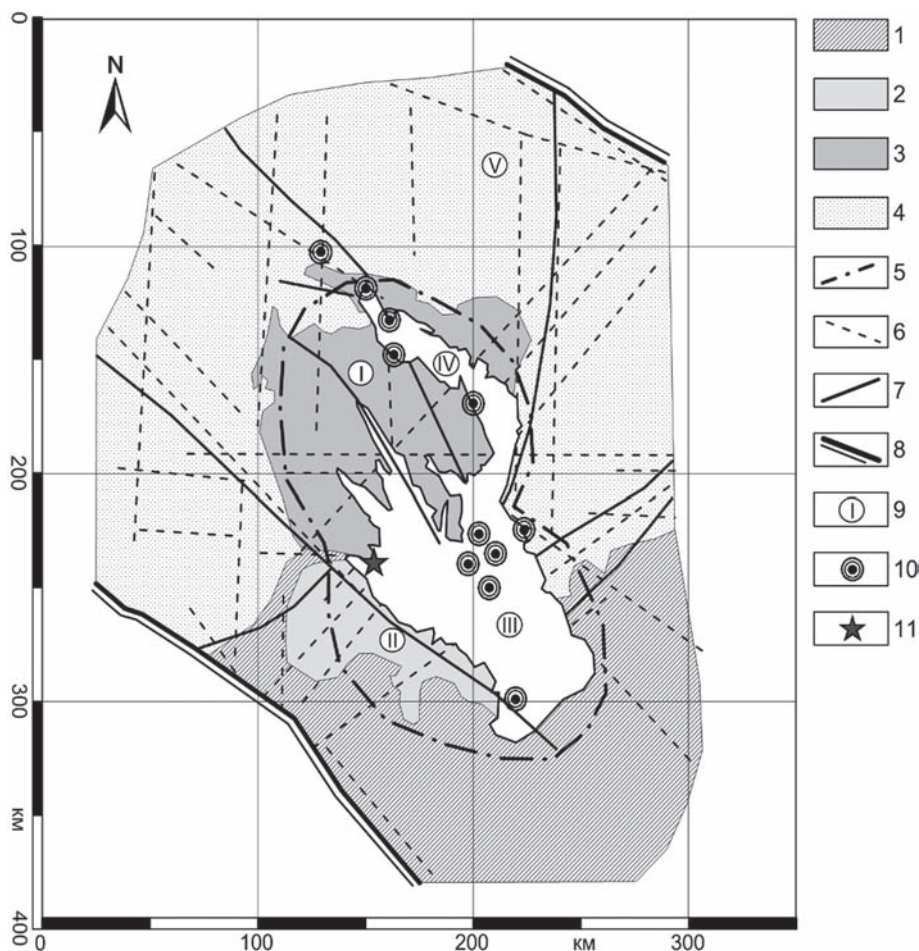


Рис. 1. План-карта Онежской сейсмогенной структуры с новейшими разломными структурами и линеаментами [Леонов и др., 2001, Леонов, Колодяжный, 2002]:

1 – чехол Восточно-Европейской платформы; 2 – палеопротерозойский осадочно-вулканогенный комплекс Южно-Онежской мульды; 3 – палеопротерозойский осадочно-вулканогенный комплекс Северо-Онежского синклинория; 4 – архейские метаморфические комплексы; 5 – границы кайнозойской Онежской депрессии; 6 – новейшие разломные структуры и линеаменты; 7 – зоны активных разломов; 8 – границы Карельского кратона; 9 – основные морфоструктуры: I. депрессия северной части Онежского озера, II. Шокшинская синклиналь, III. депрессия юго-восточной части Онежского озера, IV. депрессия Повенецкого и Заонежского заливов, V. юго-восточный склон Фенноскандинавского щита; 10 – эпицентры современных землетрясений [по Леонов и др., 2001, Леонов, Колодяжный, 2002]; 11 – сейсмологическая станция «Петрозаводск»



Рис. 2. Схема сейсмостанции PTRZ

выполненный вулканогенно-осадочными отложениями палеопротерозоя и окруженный кристаллическими породами, которые составляют ее фундамент. В северной части ОС выделяется Северо-Онежский синклиний, сложенный породами сумийского, сариолийского, ятулийского, людиковийского и калевийского надгоризонтов. Южнее располагается пологая эллипсоидная Южно-Онежская мульда, надстроенная верхними горизонтами венда и девона [Леонов, Колодяжный, 2002]. По геофизическим данным и Северо-Онежский синклиний и Южно-Онежская мульда представляют собой синформы, охватывающие всю консолидированную кору до границы с верхней мантией [Голышева, 2012].

Материалы и методы

Для изучения глубинного строения и сейсмического режима территории Карелии в 1999 г. сотрудники Института геологии основали региональную сейсмологическую сеть. В настоящее время сеть включает в себя четыре сейсмические станции в разных районах республики. Станции оборудованы велосиметрами Guralp CMG-3ESP (станция «Петрозаводск») и CMG-6TD (станции «Питкяранта», «Кемь», «Костомукша»).

Для сравнения характеристик используемых велосиметров на сейсмостанции «Петрозаводск» произведена одновременная запись сейсмических сигналов (рис. 2) обоими типами велосиметров. Оборудование располагается в крытом павильоне Геофизической

обсерватории Петрозаводского государственного университета на фундаменте, который имеет контакт с коренными породами, представленными подушечными и массивными базальтами суйсарской свиты людиковийского надгоризонта палеопротерозоя.

Синхронизация сейсмических данных по времени осуществляется с помощью GPS-приемников, данные автоматически записываются в память компьютера станции и передаются на сервер хранения.

Технические характеристики велосиметров, используемых в Карельской сейсмологической сети, приведены в таблице.

Оба типа сейсмометров регистрируют сейсмические события в широком диапазоне частот от 0,1 до 50 Гц, что позволяет выделять в записи не только телесеизмические землетрясения, но и события регионального и локального масштаба при применении полосовой фильтрации определенных частот.

Целью функционирования сейсмологической станции является получение качественных сейсмологических данных. Чувствительность станции при низком уровне шумов возрастает и позволяет увереннее и детальнее характеризовать слабые сейсмические события [McNataга, Buland, 2003]. Оценка фонового сейсмического шума, а следовательно, и чувствительности к слабым событиям является основной целью данной работы.

Оценка уровня шума сейсмической станции PTRZ проведена относительно моделей Петерсона (модели низкого NLNM и высокого NNNM уровня шума), являющихся эталонами для оценки уровня сейсмического шума

Характеристики используемых на данный момент сейсмоприемников

Характеристика	CMG-6TD	CMG-3ESP
Диапазон рабочих частот (Гц)	0,033–50	0,033–20,6
Диапазон рабочих температур (°С)	От –40 до +85	От –20 до +65
Чувствительность (в/м/с)	1200	1,05*10 ⁶
Масса (кг)	2,7	9,3
Дополнительно	Встроенная карта памяти, удаленная корректировка	Ручное арретирование

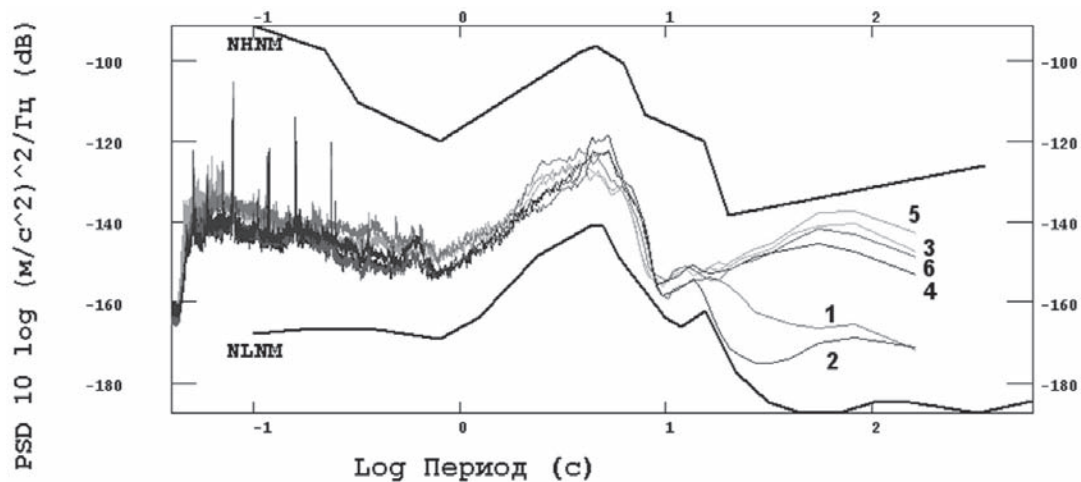


Рис. 3. Спектры плотности мощности шума (сейсмодатчик CMG-3ESP) за ночное и дневное время суток. Z-компонента: 1 – день, 2 – ночь; N-компонента: 3 – день, 4 – ночь; E-компонента: 5 – день, 6 – ночь

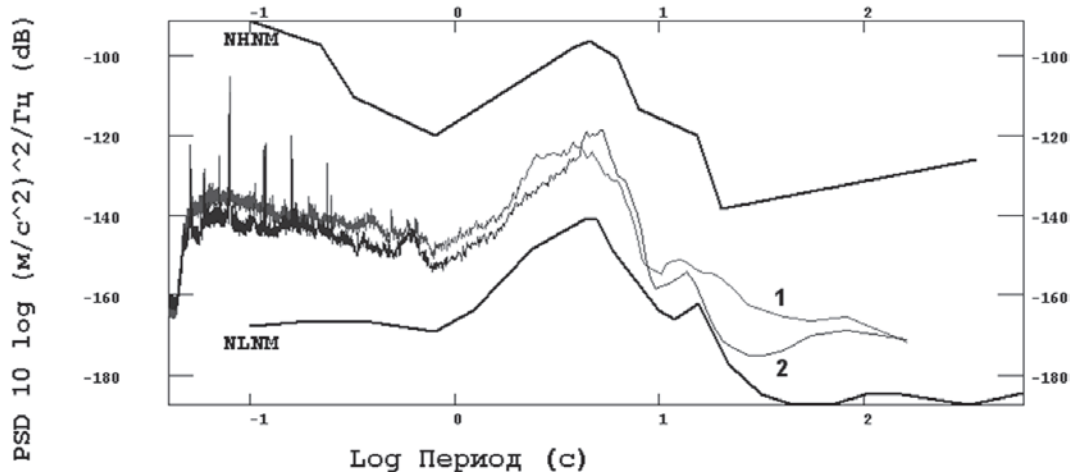


Рис. 4. Спектры плотности мощности шума (сейсмодатчик CMG-3ESP), вертикальная компонента: 1 – день, 2 – ночь

в окрестностях функционирования сейсмической станции. Данные модели являются результатом статистической обработки обширного массива данных 75 станций, составляющих глобальную сейсмологическую сеть [Peterson, 1993].

Для расчета спектральной плотности мощности сейсмического шума (СПМ) использована утилита, разработанная сотрудниками Кольского филиала Геофизической службы РАН. Данное программное обеспечение реализует следующий алгоритм вычисления СПМ [Федоров, Асминг, 2013]:

1. Выделение часовых фрагментов записей, не содержащих сейсмические события локального, регионального и телесеизмического характера.
2. Разбиение каждого из временных интервалов на фрагменты длиной 8192 отсчета с 75-процентным перекрытием между фрагментами. Длина фрагментов выбирается из

соображений необходимого количества отсчетов для быстрого преобразования Фурье (БПФ), т. е. 2^n , где n – натуральное число.

3. Удаление из сейсмической записи длинно-периодного тренда.
4. Применение окна Хэмминга для сглаживания негативных эффектов применения БПФ, возникающих на краях интервалов записей.
5. Расчет СПМ для каждого фрагмента записи с последующим усреднением по всем фрагментам. СПМ вычисляется как квадрат амплитуды спектра Фурье, помноженный на нормировочный коэффициент:

$СПМ_k = 2\Delta t/N \cdot |Y_k|^2$, где Y_k – k -й отсчет спектра Фурье; N – количество исходных отсчетов фрагмента, Δt – шаг по времени. Нормировочный коэффициент $2\Delta t/N$ необходим для корректного сравнения вычисленной СПМ шума с модельными кривыми NLNM и NHNM.

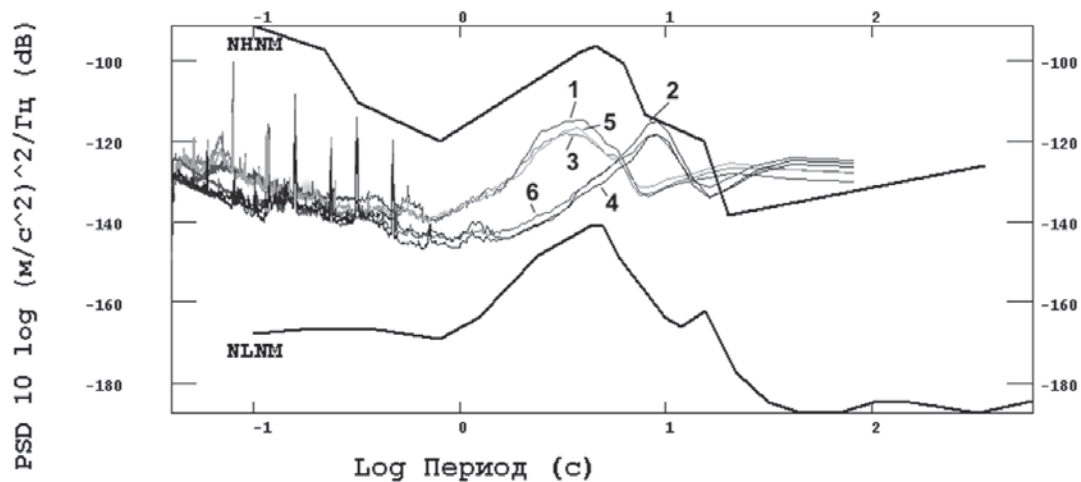


Рис. 5. Спектры плотности мощности шума (сейсмодатчик CMG-6TD) за ночное и дневное время суток. Z-компонента: 1 – день, 2 – ночь; N-компонента: 3 – день, 4 – ночь; E-компонента: 5 – день, 6 – ночь

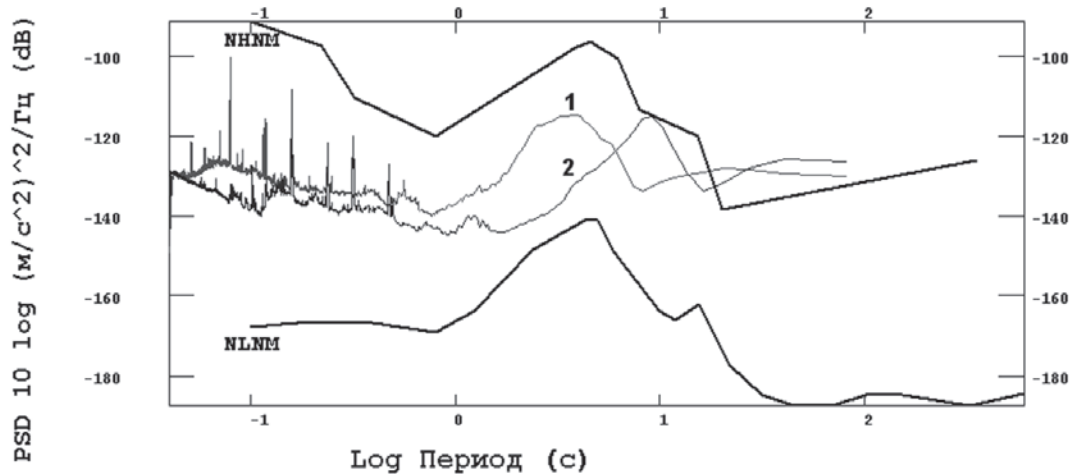


Рис. 6. Спектры плотности мощности шума (сейсмодатчик CMG-6TD), вертикальная компонента: 1 – день, 2 – ночь

6. Деление среднего СПМ на частотную характеристику прибора, приведенную к ускорениям.
7. Перевод единиц измерения амплитуды в децибелы для сравнения с модельными кривыми NLNM и NNNM по следующей формуле:

$$\text{СПМ}_{\text{дБ}} = 10 \cdot \lg \text{СПМ}.$$

Результаты и обсуждение

По результатам вычислений получены спектры плотности мощности шума (СПМ) сейсмостанции «PTRZ» по записям двух типов датчиков в ночное и дневное время суток (рис. 3).

Все три компоненты за дневное и ночное время суток лежат в интервалах между модельными кривыми Петерсона высокого и низкого уровня шума.

На рисунке 4 приведены кривые СПМ за ночное и дневное время суток по вертикальной компоненте, построенные по записи данных

сейсмодатчика CMG-3ESP. В целом график СПМ за дневное время суток располагается выше графика СПМ за ночное время суток. Условно на графике кривых СПМ можно выделить три интервала: диапазон 0,1–1 с, где интенсивность СПМ в дневной период превышает интенсивность СПМ ночью на 3–7 дБ, что, скорее всего, связывается с антропогенной нагрузкой; диапазон 3–10 с, где интенсивность СПМ за ночь превышает интенсивность СПМ за день на 3–8 дБ; диапазон от 10 с, где интенсивность СПМ днем превышает интенсивность СПМ в ночной период на величину 3 дБ и выше, а на 32 с достигает максимума в 12 дБ.

Кривые СПМ шума на рисунке 5, полученные по данным записи сейсмостанции CMG-6TD, лежат в пределах модельных кривых Петерсона высокого и низкого шума приблизительно до 17 с, а далее располагаются выше модельной кривой высокого шума NNNM,

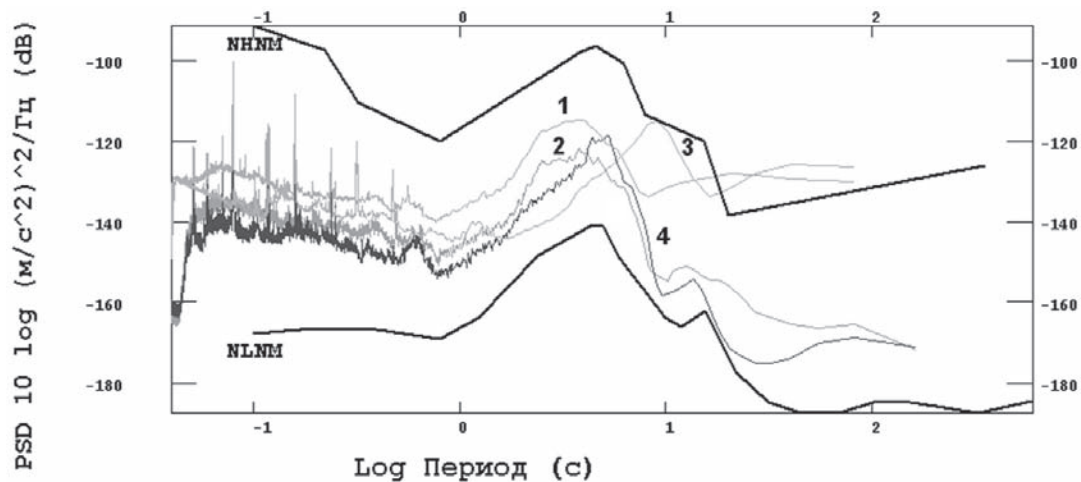


Рис. 7. Сравнение спектров плотности мощности шума двух типов датчиков. Z-компонента за дневное время суток: 1 – CMG-6TD; 2 – CMG-3ESP. Z-компонента за ночное время суток: 3 – CMG-6TD; 4 – CMG-3ESP

что связано с особенностью технических характеристик станции.

На рисунке 6 приведены кривые СПМ за ночное и дневное время суток по вертикальной компоненте, построенные по записи данных сейсмоматчика CMG-6TD. В диапазоне периодов 0,1–1 с интенсивность плотности шума в дневной период превышает интенсивность в ночной период на 2–5 дБ, а в диапазоне 1–5 с – от 5 до 28 дБ, при этом в периодах более 10 с интенсивность плотности шума днем превышает этот показатель в ночное время на 18 дБ.

Сопоставление полученных диаграмм СПМ шума двух типов велосиметров в ночное и дневное время суток (рис. 7) показывает, что датчик CMG-6TD обладает большей чувствительностью в коротких периодах, а на длинных периодах график спектра выходит за пределы модельной кривой высокого шума, что свидетельствует о затруднении выделения сейсмических событий с периодами от 16,6 секунды. По этой причине более надежное выделение сейсмических событий длинных периодов возможно по записям велосиметра CMG-3ESP.

Заключение

Сейсмическая станция PTRZ находится в приемлемом для регистрации сейсмических событий месте, исходя из расположения графиков СПМ шума в пределах модельных кривых высокого и низкого уровня шума Петерсона. Таким образом, возможно осуществление сейсмологического мониторинга станцией, установленной на Фенноскандинавском щите. Данные, полученные с этой станции, могут быть использованы для составления каталогов, а также в других научных целях.

Литература

- Гольшева Ю. С. Применение 3D-плотностного моделирования при создании Онежской «опорной площадки» // Геофизические исследования Земли и ее недр: Материалы VIII международной науч.-практ. конкурс-конференции молодых специалистов «Геофизика 2011». СПб., 2012. С. 49–52.
- Леонов М. Г., Колодяжный С. Ю. Структурно-кинематические ансамбли и некоторые особенности постархейской геодинамики Карельского массива (Балтийский щит) // Геотектоника. 2002. № 5. С. 19–44.
- Леонов М. Г., Колодяжный С. Ю., Зыков Д. С. и др. Очерки постархейской геодинамики Карельского массива. М.: ГЕОС, 2001. 120 с.
- Соколов В. А. Геология Карелии. Л.: Наука, 1987. 231 с.
- Федоров А. В., Асминг В. Э. Изучение характеристик сейсмического шума сети станций, используемых в рутинной обработке Кольским филиалом ГС РАН // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы 8-й международной сейсмологической школы. Обнинск, 2013. С. 322–326.
- Шаров Н. В. Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2004. С. 192–237.
- Шаров Н. В., Маловичко А. А., Щукин Ю. К. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы. Книга 1. Землетрясения. Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН, 2007. С. 193–197.
- McNamara D. E., Buland R. P. Ambient Noise Levels in the Continental United States USGS, Golden, CO manuscript in review: BSSA, September 2003.
- Peterson J. Observation and modeling of seismic background noise // U. S. Geol. Surv. Open-File Rept. 93–322, 1993. P. 1–95.

Поступила в редакцию 05.05.2015

References

Fedorov A. V., Asming V. Je. Izuchenie harakteristik sejsmicheskogo shuma seti stancij ispol'zuemyh v rutinnoj obrabotke Kol'skim filialom GS RAN [The study of seismic noise features of the stations network in the routine processing by the Kola branch of GS of RAS]. Sovremennye metody obrabotki i interpretacii seismologicheskikh dannyh: Materialy 8-oi mezhdunarodnoj seismologicheskoi shkoly [Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Proc. of the 8th intern. seismological school]. Obninsk, 2013. P. 322–326.

Golysheva Ju. S. Primenenie 3D-plotnostnogo modelirovaniya pri sozdanii Onezhskoj "opornoj ploshhadki" [Application of 3D-gravity modeling for creation of the Onega "key area"]. Geofizicheskie issledovaniya Zemli i ejo nedr: Materialy VIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konkurs-konferencii molodyh specialistov "Geofizika 2011" [Geophysical research of the Earth and its mineral resources. Proc. of the 5th intern. scientific and technical conference-competition of young specialists «Geophysics 2011»]. St. Petersburg, 2012. P. 49–52.

Leonov M. G., Kolodjazhnyi S. Yu., Zykov D. S., Lishnevskii E. N., Somin M. L. Ocherki postarhejskoj geodinamiki Karel'skogo massiva [Essays of the Postarchean geodynamics of the Karelian Massif]. Moscow: GEOS, 2001. 120 p.

Leonov M. G., Kolodjazhnyi S. Ju. Strukturno-kinematičeskie ansambl'i i nekotorye osobennosti postarhejskoj geodinamiki Karel'skogo massiva (Baltijskij shhit) [Structural-kinematic ensembles and some specific post-archean geodynamic features of the Karelian Massif (Baltic Shield)]. *Geotektonika*. 2002. No. 5. P. 19–44.

Sharov N. V. Glubinnoe stroenie i sejsmichnost' Karel'skogo regiona i ego obramlenija [Deep structure and seismicity of the Karelian region and its margins]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2004. P. 192–237.

Sharov N. V., Malovichko A. A., Shhukin Ju. K. Zemletrjaseniya i mikrozejsmichnost' v zadachah sovremennoj geodinamiki Vostočno-Evropejskoj platformy. Kniga 1. Zemletrjaseniya [Earthquakes and microseismicity in modern geodynamics problems on the East European Platform. Part 1. Earthquakes]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2007. P. 193–197.

Sokolov V. A. Geologija Karelii [Geology of Karelia]. Leningrad: Nauka, 1987. 231 p.

McNamara D. E., Buland R. P. Ambient Noise Levels in the Continental United States USGS, Golden, CO manuscript in review: BSSA, September 2003.

Peterson J. Observation and modeling of seismic background noise. *U. S. Geol. Surv. Open-File Rept.* 93–322, 1993. P. 1–95.

Received May 05, 2015

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Климовский Александр Валерьевич

младший научный сотрудник
Институт геологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: klimava@gmail.com

Мещерякова Вера Александровна

младший научный сотрудник
Институт геологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: v.mesher@list.ru

Лебедев Артем Анатольевич

аспирант
Институт геологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: stayxalert@gmail.com

CONTRIBUTORS:

Klimovskii, Alexandr

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk,
Karelia, Russia
e-mail: klimava@gmail.com

Meshcheryakova, Vera

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk,
Karelia, Russia
e-mail: v.mesher@list.ru

Lebedev, Artem

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk,
Karelia, Russia
e-mail: stayxalert@gmail.com