

## АНОМАЛЬНОЕ СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА В ПЕТРОПАВЛОВСКЕ-КАМЧАТСКОМ В АПРЕЛЕ 2020 ГОДА

© 2023 Е.А. Матвеевко, Д.В. Чебров

*Камчатский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Петропавловск-Камчатский,  
Россия, 683006; e-mail: van@emsd.ru*

Поступила в редакцию 30.11.2022; после доработки 17.05.2023; принята в печать 26.09.2023

Оценка влияния антропогенных факторов на сейсмический сигнал является важной проблемой обеспечения качества сейсмологических данных и, соответственно качества научных исследований. Благодаря беспрецедентной ситуации, связанной с введением мер для борьбы с распространением COVID-19, на территории России с 4 по 30 апреля 2020 г. были установлены нерабочие дни. Создавшиеся условия позволили оценить влияние резкого снижения антропогенной активности на сейсмический сигнал (шум), регистрируемый сейсмическими приборами на территории столицы Камчатского края — Петропавловска-Камчатского. Изучение сейсмического шума опиралось на анализ функции плотности вероятности спектральной плотности мощности шума, полученной по данным цифрового архива спектров шума сейсмических станций. Снижение уровня мощности сейсмического шума ниже минимальных значений аналогичных периодов прошлых лет, зарегистрировано на станциях, установленных в школах, жилых домах (интернатах) или вблизи общественных и офисных зданий. Полученные данные позволяют определить особенности работы, как станций, так и отдельных каналов с учетом их направления и положения относительно объектов человеческой деятельности.

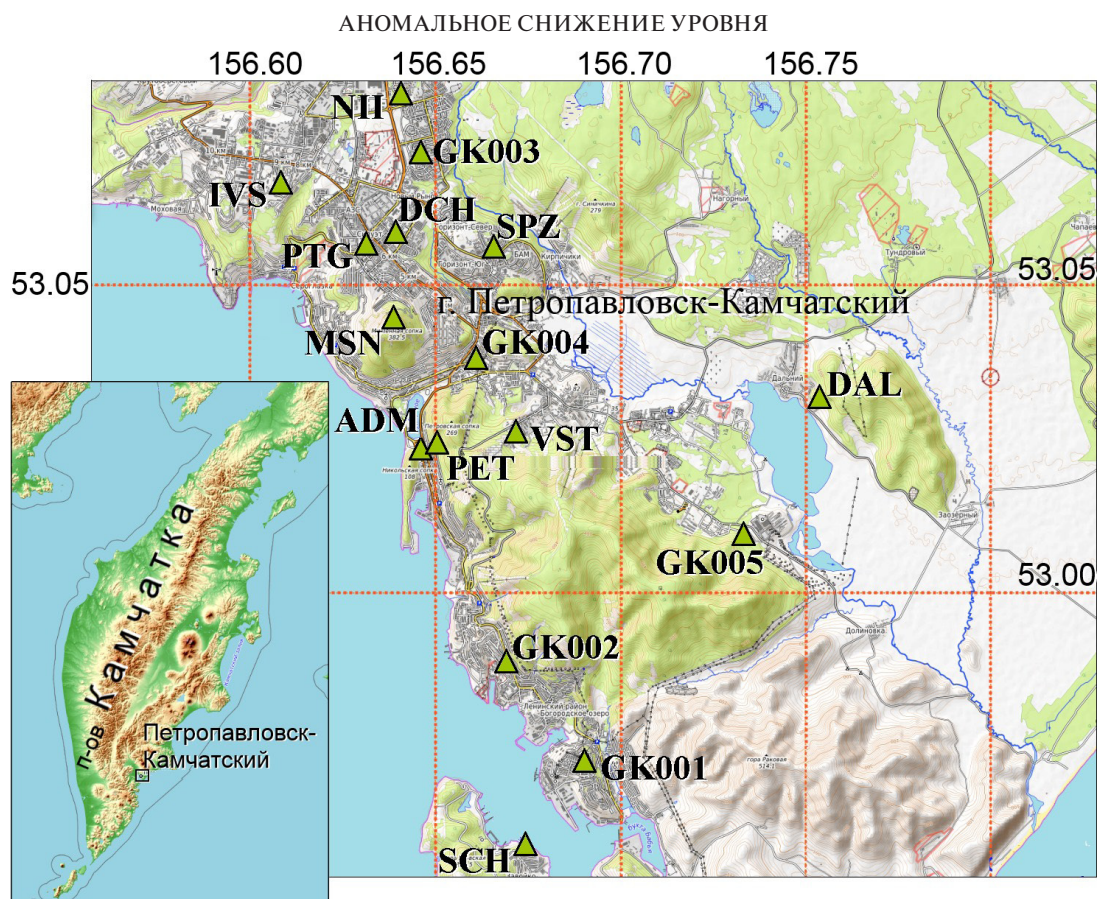
*Ключевые слова: сейсмический сигнал, антропогенный шум, спектральная плотность мощности шума.*

### ВВЕДЕНИЕ

Петропавловск-Камчатский находится в одной из самых сейсмически опасных зон мира. Жители города ощущают землетрясения в среднем 15 раз в год (Чебров и др., 2021). Согласно общему сейсмическому районированию, здесь можно ожидать сотрясения интенсивностью до Хбаллов по шкале сейсмической интенсивности ШСИ-17 (Уломов и др., 2016). На территории города расположены 16 сейсмических станций (рис. 1) Камчатского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (КФ ФИЦ ЕГС РАН) (<https://sdis.emsd.ru/map/stations/>). Ни один населенный пункт в России не имеет подобной обеспеченности сейсмическими наблюдениями.

Сейсмические станции, расположенные в Петропавловске-Камчатском, используются для стандартных задач сейсмического мони-

торинга — определения основных параметров очагов землетрясений, а также характеристик сильных движений грунта. Записи сейсмических приборов в разной степени подвержены антропогенному «загрязнению». Интенсивность антропогенной компоненты сейсмических записей, зависит от расположения станции, времени суток и сезона (Попов, Носкова, 2011; Lecocq et al., 2020; Van Wijk1 et al., 2021). Благодаря беспрецедентной ситуации, связанной с введением ограничительных мер для борьбы с распространением COVID-19, на территории России с 4 по 30 апреля 2020 г. были установлены нерабочие дни. Почти полностью прекратилась деятельность учреждений образовательной, сервисной, культурно-досуговой сфер, а также радикально снизилась интенсивность деятельности торговых учреждений и транспорта. Сложившаяся ситуация неминуемо должна была повлиять на состав сейсмического шума и суточный ход его уровня. Подобный эффект был замечен в ряде



**Рис. 1.** Карта размещения сейсмических станций на территории города Петропавловска-Камчатского. Зеленые треугольники — сейсмические станции КФ ФИЦ ЕГС РАН.

**Fig. 1.** Map of the location of seismic stations in Petropavlovsk-Kamchatsky. Green triangles are seismic stations of the Kamchatka branch GS RAS.

работ (Lescocq et al., 2020; Poli et al., 2020; Van Wijk1 et al., 2021). В настоящей работе предпринята попытка обнаружить этот эффект и оценить антропогенное влияние на сейсмический шум в Петропавловске-Камчатском — столице Камчатского края.

#### МЕТОДИКА И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Исходным материалом для исследований является цифровой архив автоматизированной системы расчета спектральных характеристик шума сейсмических станций (Чеброва, Матвеевко, 2015). В основе работы этой системы лежит анализ функции плотности вероятности (probability density function — PDF) спектральной плотности мощности шума (power spectral density — PSD) (Чеброва, Матвеевко, 2015; McNamara, Boaz, 2005; McNamara et al., 2009). Доступ к спектрально-временным характеристикам сейсмического шума осуществляется через web-интерфейс Единой информационной системы сейсмологических данных КФ ФИЦ ЕГС РАН (<https://sdis.emsd.ru/info/instruments/seismopsdpdf.php>) (Чеброва и др., 2020). В цифровом архиве хранятся данные о спектрах шума,

начиная с 2013 г. (или с даты начала работы станций, установленных после 2013 г.), характеризующие работу сейсмических приборов в диапазоне частот 0.02–4.7 Гц с шагом в 1/8 октавы. Данные для архива получены на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

Исследовались PSD шума 16 сейсмических станций (рис. 1), на каждой установлен прибор регистрации сильных движений (тип канала HN), на трех из них (DAL, IVS, PET) также установлены широкополосные велосиметры (тип канала ВН). Использовались данные об уровне шума на частотах соответствующих антропогенному влиянию (от 1 Гц и выше) (Roy et al., 2021; Van Wijk1 et al., 2021), в нашем случае с 0.9 до 4.7 Гц, разделенных на 19 полос (диапазонов частот с шагом 1/8 октавы).

Для предварительной оценки влияния ограничительных мер на окружающий сейсмический шум, по аналогии с работой (Lescocq et al., 2020), мы рассчитали плотность мощности

сейсмического шума на вертикальных каналах сейсмических станций в диапазоне 0.9 до 4.7 Гц за период с декабря 2019 г. по декабрь 2020 г. (рис. 2).

Для большинства станции характерно чередование полос высокого и низкого уровня шума, что соответствует рабочим (нормированная амплитуда более 0.5) и выходным (нормированная амплитуда менее 0.5) дням соответственно (рис. 2).

В течение года есть периоды одновременного возрастания или уменьшения шума на большинстве или отдельной группе станций (рис. 2 блоки с красными и черными границами). Блоки с красными границами — соответствуют снижению шума во время летних каникул на станциях расположенных в школах. Блоки с черными границами — возрастание шума на большинстве станций под действием природных (климатических) факторов действующих на всей территории исследования.

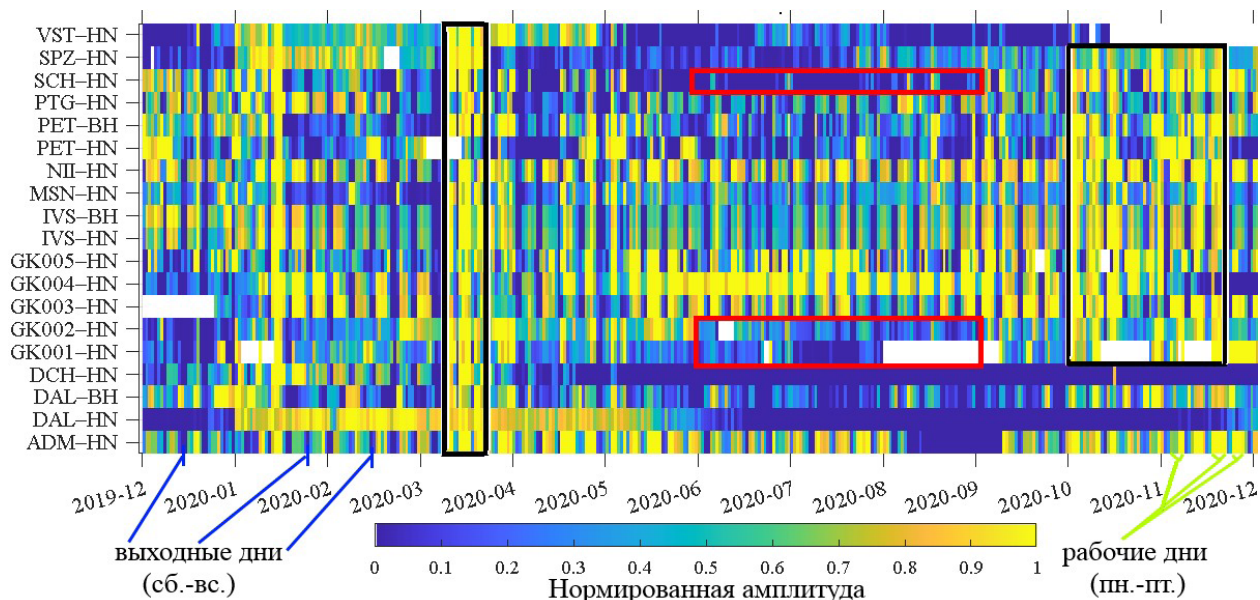
Медиана дневных вариаций сейсмического шума за период с декабря 2019 г. по декабрь 2020 г. (рис. 2) даёт поверхностное представление о регистрируемом станциями шуме в исследуемый период. Для более тонкого анализа и снижения вклада сезонных и суточных вариаций сейсмического шума данные цифрового архива были отфильтрованы по месяцам и периодам суток. Из каждого года (с 2013 г. по 2020 г.) извлекалась информация с 4 по 30 апреля, соответствующая периоду введения ограничительных мер в 2020 г. По мнению авторов, наибольшее снижение

антропогенного уровня следовало ожидать в дневное время рабочих дней. Рабочими днями здесь мы будем считать дни с понедельника по четверг. Пятница исключена по причине сокращенного рабочего дня в государственных учреждениях Камчатского края, в том числе в Петропавловске-Камчатском.

Для выбора суточных периодов проведен анализ суточных вариаций уровня PSD шума на всех каналах 16 станций. Для каждого сейсмического канала рассчитаны медианы суточных вариаций уровня шума в каждой полосе частот за период 2013–2019 гг. только рабочих дней. Проведено нормирование медиан на минимальное значение и получены суточные вариации относительного уровня шума на канале для каждой полосы частот (рис. 3, 4).

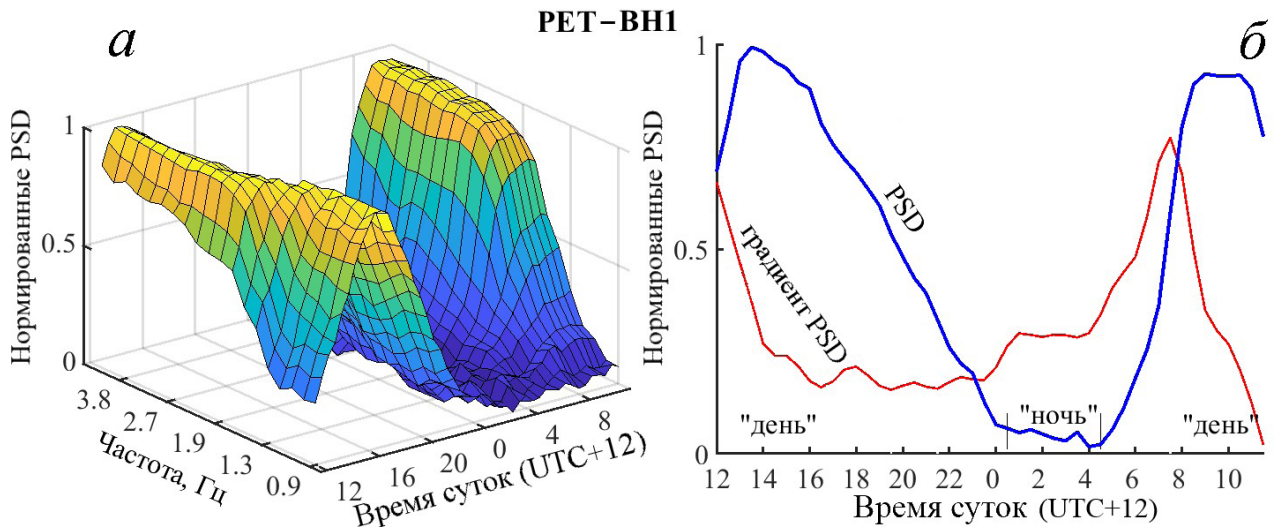
Типичные суточные вариации относительного уровня шума исследуемого набора станций, получены как медианные значения вариаций всех каналов (рис. 5a).

Экстремумы на градиенте вариаций относительного уровня шума (рис. 5b, вертикальные линии) совпадают с началом утренней активности населения 07:30, связанной с началом рабочего дня, и временем окончания рабочего дня большинства предприятий в 17:00. В дальнейших расчетах под «дневным» временем подразумевается период между 7:30 и 17:00 часами. Промежуток времени с 00:30 по 04:00 часов, соответствующий области минимальных значений уровня шума, считается «ночным» временем.



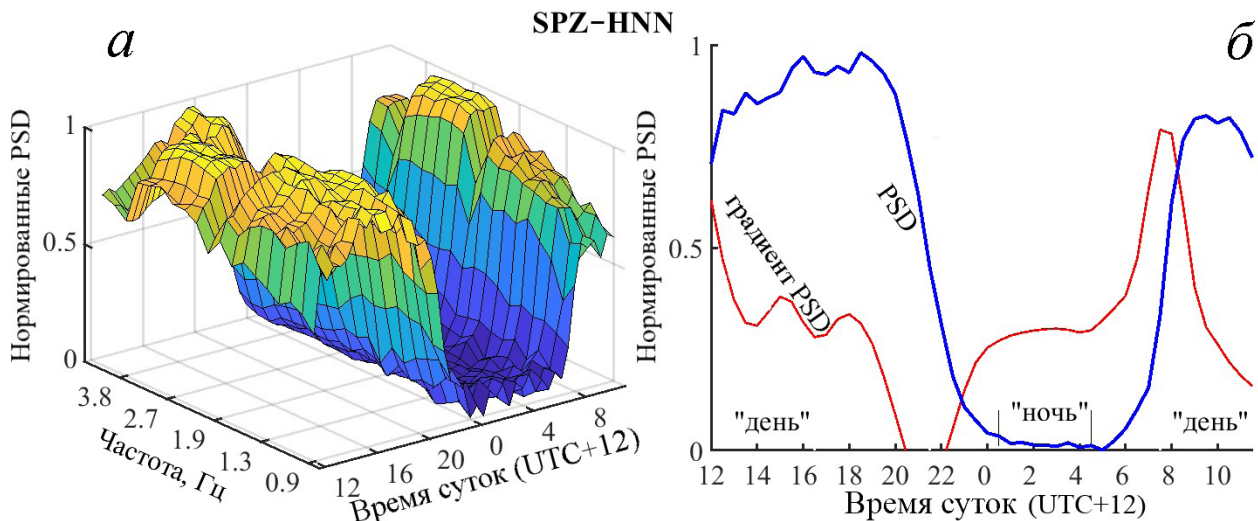
**Рис. 2.** Медиана дневных вариаций сейсмического шума, нормализованная к уровню шума до 1 апреля 2020 г. Вертикальная ось: «код станции» — «тип канала». Блоки с красной и черной границами — ежегодные изменения шумов на группах станций под влиянием антропогенных и природных факторов. Пробелы в данных показаны белым цветом.

**Fig. 2.** Median daily variations in seismic noise, normalized to percentage variation of the baseline before 1 april 2020. Vertical axis: «station code» — «channel type». Blocks with red and black borders — annual changes in noise at groups of stations under the influence of anthropogenic and natural factors. Data gaps are shown in white.



**Рис. 3.** Медиана суточных вариаций сейсмического шума, канал BH1 станции PET в «рабочие» дни за период с 2013 по 2019 гг., нормированных на минимальное значение для каждой полосы частот (а). Суточные вариации сейсмического шума, усредненные в диапазоне 0.9–4.7 Гц (б, синяя линия); градиент усредненных суточных вариаций в условных единицах (б, красная линия).

**Fig. 3.** Median daily variations in seismic noise, channel BH1 of the PET station on «working» days for the period from 2013 to 2019, normalized to the minimum value for each frequency band (a). Daily variations in seismic noise averaged in the range of 0.9–4.7 Hz (б, blue line); gradient of average daily variations in arbitrary units (б, red line).



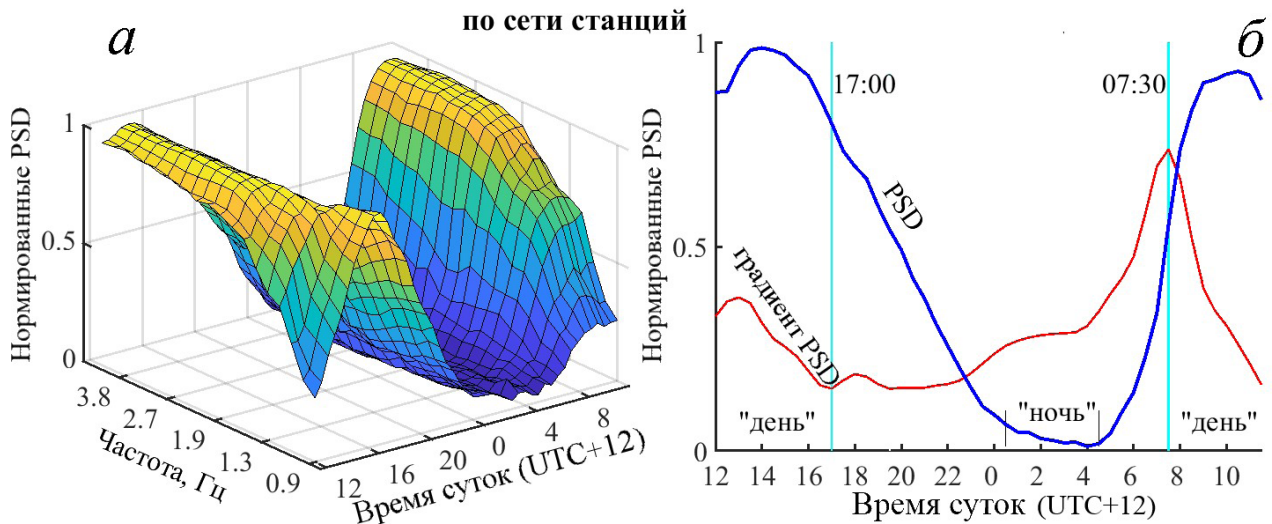
**Рис. 4.** Медиана суточных вариаций сейсмического шума, канал HNN станции SPZ в «рабочие» дни за период с 2013 по 2019 гг., нормированных на минимальное значение для каждой полосы частот (а). Суточные вариации сейсмического шума, усредненные в диапазоне 0.9–4.7 Гц (б, синяя линия); градиент усредненных суточных вариаций в условных единицах (б, красная линия).

**Fig. 4.** Median daily variations in seismic noise, channel HNN of the SPZ station on «working» days for the period from 2013 to 2019, normalized to the minimum value for each frequency band (a). Daily variations in seismic noise averaged in the range of 0.9–4.7 Hz (б, blue line); gradient of average daily variations in arbitrary units (б, red line).

Для оценки годовых изменений «типичного» уровня шума (здесь и далее под этим понятием будет приниматься медианное значение) был использован следующий порядок вычислений. Для каждого канала рассчитаны годовые «типичные» значения уровня шума каждой полосы частот каждого часа «дневного» времени. Определены средние значения «типичных» значений за разные периоды суток (полные сутки, «дневное» и «ночное» время) для каждой полосы

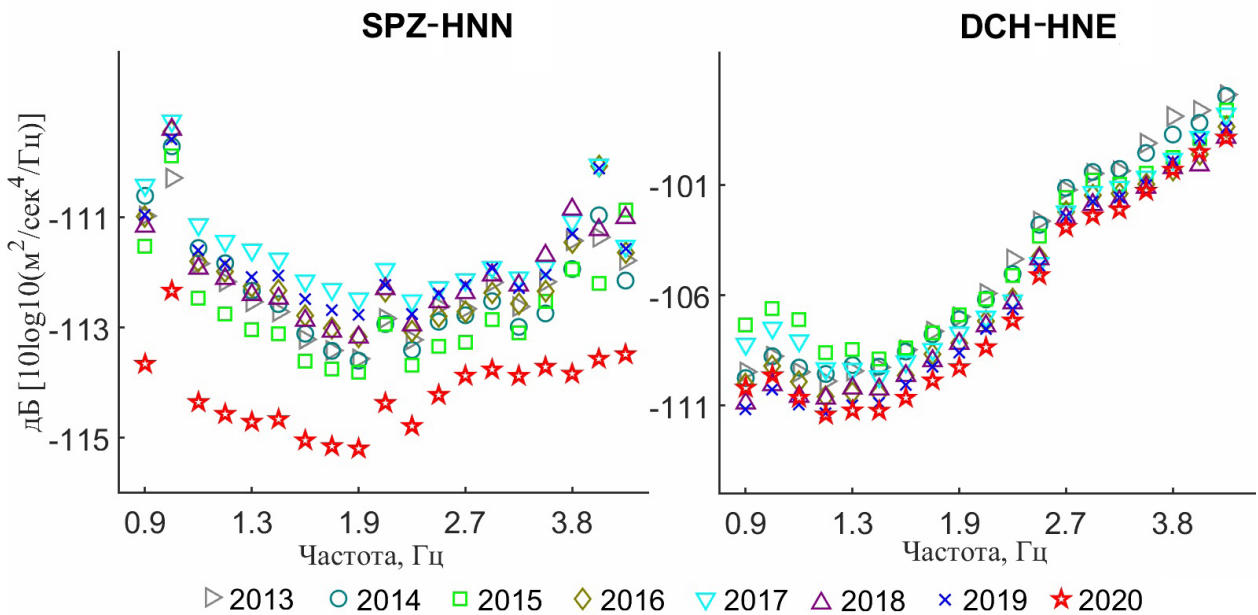
частот. Уровень шума в апреле 2020 г. по сравнению с 2013–2019 гг., мог быть снижен как на всем исследуемом диапазоне частот (рис. 6, SPZ), так и только для отдельных октавных полос (рис. 6, DCH; рис. 7, IVS) или находится в пределах среднегодовых значений (рис. 7, PET).

Для сравнения уровня шума в апреле 2020 г. с предыдущими периодами из результатов оценок годовых изменений «типичного» уровня шума были рассчитаны средние (важно было учесть



**Рис. 5.** Медиана суточных вариаций сейсмического шума сейсмической сети, состоящей из станций ADM, DAL, DCH, GK001, GK002, GK003, GK004, GK005, IVS, PET, PTG, SCH, SPZ, VST, в «рабочие» дни за период с 2013 по 2019 гг., нормированные на минимальное значение для каждой полосы частот (а). Суточные вариации сейсмического шума, усредненные в диапазоне 0.9–4.7 Гц (б, синяя линия); градиент усредненных суточных вариаций в условных единицах (б, красная линия); временные метки изменения антропогенной активности (б, бирюзовая линия).

**Fig. 5.** Median daily variations in seismic noise, seismic network (consisting of stations ADM, DAL, DCH, GK001, GK002, GK003, GK004, GK005, IVS, PET, PTG, SCH, SPZ, VST) on «working» days for the period from 2013 to 2019, normalized to the minimum value for each frequency band (a). Daily variations in seismic noise averaged in the range of 0.9–4.7 Hz (b, blue line); gradient of average daily variations in arbitrary units (b, red line); timestamps of extremum of the gradient of variations in the relative noise level (b, turquoise line).



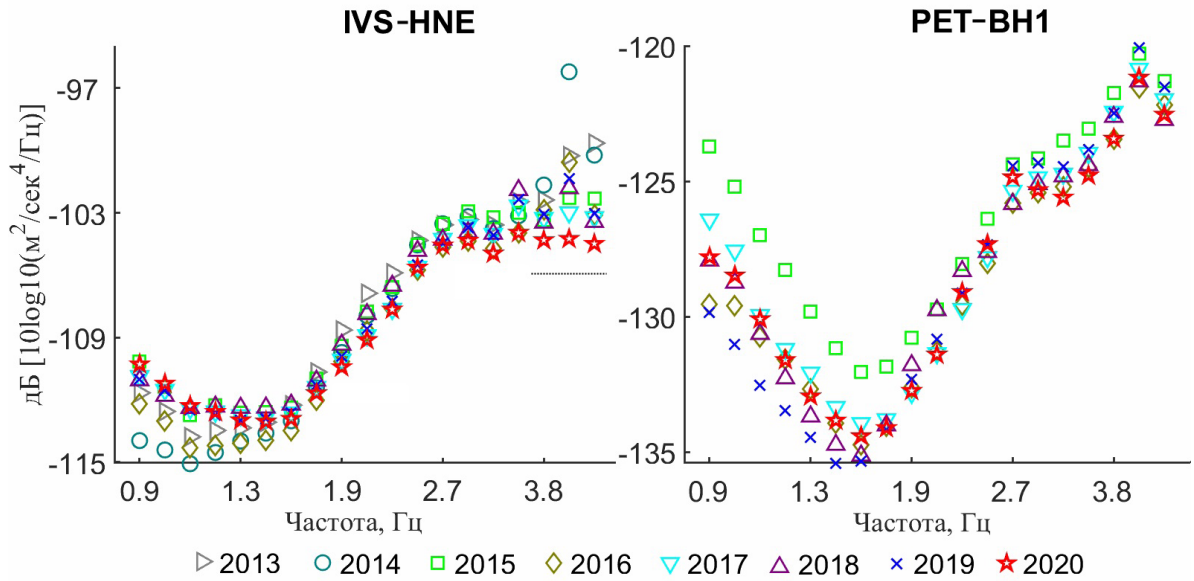
**Рис. 6.** Средние значения годовых медиан спектральной плотности мощности сейсмического шума в «дневное» время «рабочих» дней в апреле на каналах станций SPZ, DCH.

**Fig. 6.** Average values of the annual medians of the power spectral density of seismic noise during the «day» time of «working» days in April on the station channels SPZ, DCH.

вклад каждой частоты) значения PSD шума для диапазона 0.9–4.7 Гц для двух периодов: 2013–2019 гг. и 2020 г. (табл. 1).

Для оценки отклонения уровня шума в 2020 г. рассчитывалось стандартное отклонение  $\sigma$  значений уровня шума анализируемого

периода от среднегодовых значений за период с 2013 по 2019 гг. Медианы PSD шума 2020 г., имеющие значения ниже средней медианы за 2013–2019 гг. более чем на размер стандартного отклонения, можно охарактеризовать как аномально низкие.



**Рис. 7.** Средние значения годовых медиан спектральной плотности мощности сейсмического шума в «дневное» время «рабочих» дней в апреле на каналах станций IVS, PET.

**Fig. 7.** Average values of the annual medians of the power spectral density of seismic noise during the «day» time of «working» days in April on the station channels IVS, PET.

**Таблица 1.** «Типичные» значения спектральной плотности мощности (PSD) в 2020 г. и среднее годовое значение медиан PSD в течение 2013–2019 гг. за сутки (полные, «дневное» время, «ночь») для «рабочих» дней в апреле в диапазоне 0.9–4.7 Гц

**Table 1.** «Typical» 2020 PSD values and average values of 2013–2019 PSD medians per day (full, «day» time, «night») for «working» days in April in the range of 0.9–4.7 Hz

Код*	тип канала	полные сутки		σ, дБ	%	«дневное» время		σ, дБ	%	«ночное» время		σ, дБ	%
		2013–2019	2020			2013–2019	2020			2013–2019	2020		
		PSD, -дБ				PSD, -дБ				PSD, -дБ			
ADM	HNE	111.5	111.8	0.2	26	110.2	110.6	0.2	32	113.0	113.3	0.3	26
	HNN	117.1	118.5	0.5	58	114.3	115.1	0.6	37	120.9	123.6	1.0	100
	HNZ	120.4	120.5	0.3	26	118.1	118.3	0.2	26	123.2	123.2	0.6	11
DAL	HNE	124.4	124.4	0.3	0	123.9	124.0	0.4	16	124.8	125.0	0.3	0
	HNN	122.3	122.4	0.8	0	121.9	122.1	0.8	0	122.6	122.8	0.7	0
	HNZ	109.8	109.8	0.2	11	109.7	109.9	0.2	37	109.8	109.7	0.2	0
	BHE	135.0	133.8	0.8	0	131.8	131.0	0.9	0	138.7	137.8	1.0	0
	BHN	134.5	133.4	0.8	0	131.4	130.6	0.9	0	138.0	137.6	1.0	0
	BHZ	136.7	135.7	0.8	0	133.7	132.9	0.9	0	140.0	139.6	0.9	0
DCH	HNE	107.4	108.9	0.7	84	105.2	106.4	0.7	79	111.3	113.1	1.0	68
	HNN	109.4	110.3	0.6	68	107.4	108.1	0.5	58	112.4	113.6	0.7	58
	HNZ	108.7	109.3	0.3	53	107.2	107.8	0.2	58	110.9	111.5	0.7	37
GK001	HNE	117.8	118.0	0.1	100	117.5	118.0	0.1	100	118.0	118.2	0.1	32
	HNN	117.8	118.1	0.2	68	117.6	118.1	0.2	79	118.1	118.3	0.2	5
	HNZ	117.9	118.3	0.1	68	117.4	118.3	0.1	100	118.3	118.3	0.1	5
GK002	HNE	116.0	116.7	0.6	26	114.7	115.9	1.0	37	117.9	118.1	0.4	0
	HNN	115.1	116.0	0.6	68	113.6	115.4	1.2	100	116.7	116.8	0.3	11
	HNZ	116.1	116.5	0.2	47	115.0	115.7	0.4	58	117.6	117.8	0.2	0
GK003	HNE	105.8	106.6	0.5	58	102.2	102.7	0.5	47	111.4	112.6	0.9	21
	HNN	106.8	107.4	0.6	37	103.2	103.8	0.5	47	112.5	113.1	0.9	11
	HNZ	108.6	109.9	0.2	74	104.9	106.8	0.1	84	114.1	114.7	0.5	42

Таблица 1. Окончание

Table 1. Continued

GK004	HNE	112.3	113.0	1.1	37	109.5	110.0	0.7	21	116.5	117.8	2.0	32
	HNN	112.8	113.4	1.2	21	109.9	110.6	0.8	32	116.9	118.1	2.1	26
	HNZ	112.5	111.1	1.4	0	111.0	110.0	1.2	0	114.2	112.5	1.5	0
GK005	HNE	117.7	117.6	0.3	0	116.8	116.7	0.5	11	118.6	118.7	0.1	11
	HNN	117.9	117.6	0.3	0	117.2	116.8	0.5	0	118.7	118.6	0.1	0
	HNZ	117.0	117.0	0.3	5	116.0	115.8	0.5	5	118.2	118.3	0.0	21
IVS	HNE	110.4	111.0	0.5	37	107.9	108.5	0.4	37	114.1	114.8	0.9	16
	HNN	112.3	113.5	0.8	74	109.4	110.4	0.6	74	116.9	118.7	1.4	32
	HNZ	113.5	114.7	0.6	74	111.1	112.1	0.4	74	117.2	118.7	1.0	32
	BHE	115.5	117.0	0.9	68	112.1	113.1	0.5	74	121.2	123.9	1.8	42
	BHN	114.8	116.7	1.2	68	111.5	112.9	1.0	74	120.2	123.3	2.1	32
	BHZ	116.4	118.0	1.0	74	112.9	114.0	0.7	74	122.2	124.8	1.9	37
MSN	HNE	107.7	107.9	1.1	0	105.2	105.1	1.1	0	112.1	113.8	1.9	5
	HNN	108.1	108.4	1.1	0	105.6	105.7	1.0	0	112.5	114.2	2.0	0
	HNZ	115.2	115.8	0.8	32	112.9	113.4	0.6	21	118.8	120.5	1.4	42
NII	HNE	111.1	112.0	0.8	47	107.4	108.0	1.0	16	116.7	118.4	1.0	63
	HNN	111.0	111.9	0.9	16	107.1	107.8	1.2	16	116.8	118.4	1.1	68
	HNZ	110.9	112.1	0.8	74	107.3	108.2	0.9	37	116.6	118.2	1.0	68
PET	HNE	122.1	120.9	1.3	0	121.4	120.3	1.1	0	123.0	121.5	1.5	0
	HNN	117.5	113.9	2.8	0	117.1	113.8	2.6	0	117.7	114.1	3.1	0
	HNZ	121.8	121.8	2.2	0	121.3	121.4	2.1	0	122.3	122.4	2.4	0
	BH1	130.9	132.0	1.2	47	128.1	128.5	1.0	16	135.1	137.4	2.1	42
	BH2	130.5	132.0	1.5	47	127.7	128.1	1.1	16	134.6	137.7	2.7	42
	BHZ	124.7	122.4	6.2	0	122.0	118.9	6.1	0	128.8	127.8	6.7	0
PTG	HNE	106.4	107.8	0.6	74	103.1	104.5	0.9	74	112.2	114.1	0.7	74
	HNN	107.9	109.6	0.6	79	104.5	106.2	0.9	79	113.7	115.7	0.6	74
	HNZ	110.8	112.2	0.5	84	107.6	109.3	0.8	84	116.3	117.7	0.4	53
SCH	HNE	120.9	122.4	0.7	42	119.5	122.1	0.7	74	122.5	123.0	0.8	0
	HNN	116.3	117.6	0.4	63	115.2	117.5	0.4	89	117.5	118.0	0.5	5
	HNZ	122.5	123.9	0.6	84	121.1	123.9	0.5	100	123.9	124.3	0.6	0
SPZ	HNE	112.9	113.8	0.4	53	112.2	113.3	0.5	63	114.2	114.3	0.3	16
	HNN	112.6	114.5	0.3	100	112.1	114.2	0.4	100	113.7	115.0	0.2	100
	HNZ	113.2	113.8	0.1	100	112.8	113.6	0.1	100	114.0	114.1	0.2	32
VST	HNE	117.6	117.7	0.3	42	116.5	117.2	0.5	79	118.6	118.4	0.2	16
	HNN	114.4	114.9	0.2	95	114.0	114.7	0.4	95	114.8	115.1	0.1	95
	HNZ	119.8	119.4	0.4	0	118.6	118.7	0.6	0	120.9	120.0	0.4	0

Примечание. \* — региональный код станции (рис. 1);  $\sigma$  — среднеквадратичное отклонение медиан PSD анализируемого периода от среднего значения медиан за период 2013–2019 гг. для каждого канала станции; % — доля октавных полос частот, имеющих медианное значение анализируемого периода ниже минимального среди медианных PSD 2013–2019 гг.

Note. \* — regional station code (fig. 1);  $\sigma$  — the standard deviation of the PSD medians of the analyzed period from the average value of the medians for the period 2013–2019 for each station channel; % — the proportion of octave frequency bands with a median value of the analyzed period below the minimum among the PSD median of 2013–2019.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результатом работы является оценка изменения уровня шума в апреле 2020 г. по сравнению с предыдущими периодами на трех суточных сре-

зах: полные сутки, «дневное» и «ночное» время (табл. 1). В настоящей работе, согласно предположению авторов о наибольшем изменении уровня шума в рабочее время, обсуждение результатов проводится только по периоду «дневное» время.

АНОМАЛЬНОЕ СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ

Периоды полные сутки и «ночное» время приведены для общего представления об изменениях уровня шума в исследуемый период.

Уровень шума в «дневное» время остался в границах стандартного отклонения для всех каналов станций: DAL, GK004, GK005, MSN, PET (табл. 1, рис. 7). Все станции, кроме GK004 и GK005 (табл. 2), расположены в отдалении от источников антропогенного воздействия. Территория станций GK004 и GK005 относится к местам (больницы, службы спасения), где

введенные меры не должны были повлиять на снижение уровня шума.

Аномальное изменение (снижение) уровня шума отмечено для всех каналов станций: DCH, GK001, GK002, GK003, IVS, PTG, SCH, SPZ (табл. 1, рис. 6). Все станции относятся к объектам, подпадающим под введенные в апреле ограничительные меры, — школы, жилые районы, спортивные комплексы (табл. 2). Наибольшие отклонения уровня шума от годовых значений отмечаются на всех станциях, расположенных

**Таблица 2.** Описание расположения сейсмических станций

**Table 2.** Description of the location of seismic stations

Код станции*	Размещение станции. Окружение
ADM	Первый этаж административного здания (краевая администрация). Здание с двух сторон окружают двухполосные односторонние дороги. Расстояние до дорог 40–60 м.
DAL	Подземный постамент на склоне сопки. В 250 м однополосная дорога.
DCH	Подвал многоквартирного жилого дома (общежитие). Межквартальная дорога в 5 м, в радиусе 100–150 м: многоквартирные дома, две больницы, муз. школа, административные здания, вещевого рынок. В 150 м четырехполосная дорога.
GK001	Первый этаж общественного здания (школа). Здание расположено на вершине сопки, в радиусе 100–150 м многоквартирные дома, детский сад, спортивная площадка. В радиусе 220 м две двухполосные дороги.
GK002	Подвал общественного здания (школа-интернат). В радиусе 100–150 м многоквартирные дома. В 70 м трехполосная дорога.
GK003	Подвал общественного здания (школа). В радиусе 100–150 м многоквартирные дома, офисные здания. В 180 м однополосная дорога.
GK004	Подвал общественного здания (корпус краевой больницы). В непосредственной близости корпуса больницы, в радиусе 100–150 м два торговых центра с автостоянками, офисное здание. В 60 м трехполосная дорога.
GK005	Первый этаж пристройки к административному зданию, расположенному на склоне сопки (специализированная пожарно-спасательная часть). В 100–150 м промышленная зона и хозяйственные корпуса, в 300 м вторая по мощности тепловая электростанция Камчатского края. В 215 м двухполосная дорога.
IVS	Подземный постамент. В непосредственной близости два административных здания, одно из них работает круглосуточно, в 100–150 м административное здание, многоквартирные дома, угольная котельная. На расстоянии 180 м двухполосная дорога.
MSN	Подземный постамент на высшей точке Мишенной сопки. В 40 м находится телевизионная мачта высотой около 30 м, в 70 м административное здание. До ближайшей дороги общего пользования более 500 м.
НИ	Подвал административного здания (научный институт). В радиусе 100–150 м административные здания. В 125 м четырехполосная дорога.
PET	Постамент в бункере на склоне сопки. В непосредственной близости двухэтажное здание, в радиусе 100–150 м частные малоэтажные дома, административные здания, межквартальные дороги. До двухполосной дороги 160 м.
PTG	Подвал многоквартирного жилого дома. В радиусе 100–150 м многоквартирные дома. В 110 м четырехполосная дорога.
SCH	Подвал общественного здания (школа). В 80 м берег Авачинской бухты, в 100–150 м многоквартирные дома. В 150 м двухполосная дорога.
SPZ	Первый этаж общественного здания (физкультурно-оздоровительный комплекс). В радиусе 100–150 м многоквартирные дома, общественное здание (детский сад). В 70 м четырехполосная дорога.
VST	Подземный бетонный постамент. Промышленная зона, в радиусе 100–150 м хозяйственные корпуса, промышленный карьер. На расстоянии 180 м трехполосная дорога.

Примечание. \* — региональный код станции (расположение станций показано на рис. 1).

Note. \* — regional code of the station (the location of the stations is shown in Fig. 1).



вблизи школ. Полученные результаты и информация о расположении станций позволяют делать следующие выводы. Для станции SCH отмечено значительное снижение шума в анализируемый период. Здание школы расположено на окраине южной части города и максимально удалено (в сравнении с другими станциями города) от промышленных и общественных зданий. Можно предположить, что деятельность внутри школы являлась основным источником антропогенного вклада в регистрируемый сигнал.

Станции DAL и PET оказались слабо подвержены антропогенному влиянию. Станция DAL расположена на окраине небольшого поселка в пригороде Петропавловска-Камчатского, вдали от общественных зданий, что объясняет слабый антропогенный эффект. Станция PET расположена на склоне горы рядом с административным центром города, в радиусе 130 м от станции есть несколько одноэтажных жилых домов. Ближайшие административные здания и многоквартирные дома располагаются в 130–200 м, также в 200 м проходит центральная городская дорога, соединяющая северную и южную части города. Вероятно, скальный грунт, на котором расположена станция, и относительная удаленность значительно снижают антропогенный вклад в сейсмический шум, регистрируемый на станции.

Картина изменения мощности шума на станциях ADM, NII и VST в исследуемый период, не позволяет отнести их, ни к станциям с аномальным снижением уровня шума, ни к станциям слабо подверженным антропогенному влиянию. Для всех каналов станции NII мощность шума в дневное время рабочих дней соответствует средним значениям в пределах среднеквадратичного отклонения (табл. 1) за период 2013–2019 гг., однако в ночное время величина снижения мощности шума в полтора раза превышает среднеквадратичное отклонение, для более половины исследуемых частот. Снижение шума только в ночное время для всех каналов станции отмечено только для станции NII. На станции ADM канал HNN величина снижения мощности шума, в ночной период рабочих дней, почти в три раза превышает среднеквадратичное отклонение (табл. 1), однако для каналов HNZ и HNE находится в пределах среднегодовых значений. В дневное время только на горизонтальных каналах мощность шума для отдельных полос частот ниже значений предыдущих периодов.

В апреле 2020 г. на всех каналах станции VST в ночное время появляется резкое возрастание мощности шума вблизи частоты 4.1 Гц (рис. 8а). Скачок мощности шума вблизи 4.1 Гц характерен всем каналам в дневное время (рис. 8б). Можно предположить, что на территории где располо-

жена станция, некая деятельность характерная рабочему (дневному) времени стала выполняться и в ночную смену.

Авторами сделано предположение о непропорциональном влиянии движущегося транспорта вблизи станции ADM на мощность шума регистрируемого сейсмическими каналами в разных направлениях (табл. 1). Здание, в котором расположена станция, ориентировано с севера на юг, вдоль здания проходит оживленная городская дорога (табл. 2). Дорога прямая, с уклоном 4°, направление полос имеет расхождение с меридианом не более 13°. На протяжении 100 м до и после здания, для всего транспорта характерно движение с ускорением. Силы трения скольжения, возникающие между колесами движущегося транспорта и дорогой, возбуждают колебания поверхности, направленные вдоль дороги, а движение транспорта с ускорением усиливает воздействие на поверхность земли, соответственно влияя на сигнал, регистрируемый параллельно ориентированным каналом. Значительное снижение транспортной нагрузки на дорогу во время ограничительных мер, согласно выдвинутому предположению, в большей степени должно было снизить значения уровня мощности шума на канале параллельном движению транспорта (табл. 1, станция ADM, канал HNN).

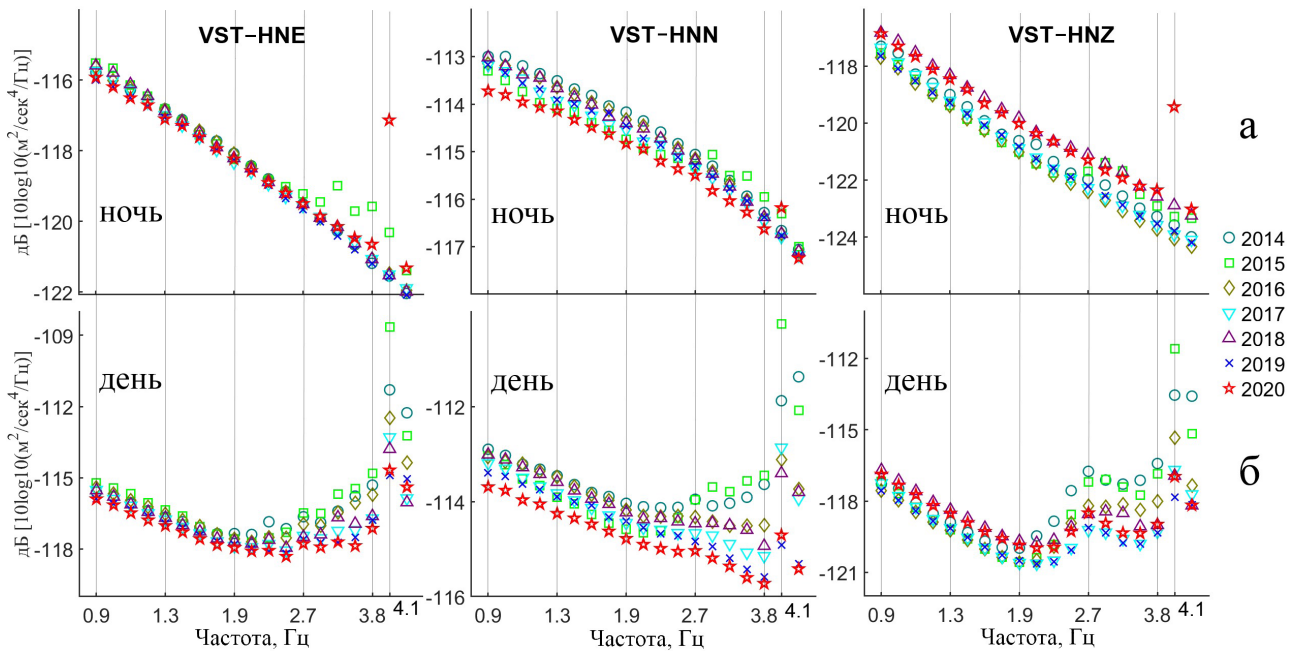
## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исполнение мер для борьбы с распространением COVID-19 оказало ощутимое влияние на спектральный уровень и состав сейсмического шума, регистрируемого на территории города Петропавловска-Камчатского в апреле 2020 г.

Инструментально подтверждено, снижение уровня мощности сейсмического шума ниже минимальных значений аналогичных периодов прошлых лет на станциях, установленных в школах, жилых домах (интернатах) или вблизи крупных общественных и офисных зданий. Это согласуется с условиями принятых мер для борьбы с распространением COVID-19, как то дополнительные каникулы в школах и переход на удаленный режим работы в организациях. Уровень мощности сейсмического шума остался близок среднегодовым значениям на станциях удаленных от воздействия антропогенных факторов, а также на станциях, установленных в непосредственной близости от административных зданий, на которые не распространялись меры для борьбы с распространением COVID-19.

Из всех станций, расположенных на территории Петропавловска-Камчатского, наименее подверженными антропогенному влиянию оказались станции DAL, PET, MSN, что соответствует ожиданиям.

АНОМАЛЬНОЕ СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ



**Рис. 8.** Средние значения годовых медиан спектральной плотности мощности сейсмического шума в «ночное» (а) и «дневное» (б) время «рабочих» дней в апреле на каналах станции VST.

**Fig. 8.** Average values of the annual medians of the power spectral density of seismic noise during the «night» (a) and «day» (б) time of «working» days in April on the station VST.

Оценка влияния антропогенных факторов на сейсмический сигнал — задача, которая всегда возникает при оценке качества исходных данных. Обычно ее принято решать, сравнивая заведомо тихие и шумные периоды, например, день и ночь. Однако довольно часто возникает ситуация, когда ночью антропогенное воздействие не прекращается в достаточной мере. Возможна и такая ситуация, когда природный шум ночью и днем систематически различается, что может наблюдаться в прибрежных и горных районах. В этом случае выделить антропогенную компоненту гораздо сложнее. Поэтому ситуация весны 2020 г. позволила провести уникальный эксперимент, который предоставил дополнительные возможности по изучению антропогенного вклада в сейсмический шум.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания (проект № 075-01271-23).

Список литературы [References]

Попов И.В., Носкова Н.Н. Структура и характер сейсмических шумов в зоне градопромышленной агломерации г. Сыктывкара // Вестник института геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2011. № 3. С. 13–16 [Popov I.V., Noskova N.N. Structure and character of seismic noises in Syktyvkar urban area // Vestnik of the Institute of Geology of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 2011. № 3. P. 13–16 (in Russian)].

Чебров Д.В., Салтыков В.А., Матвеев Е.А. и др. Сейсмичность Камчатки и Командорских островов в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. 2021. Вып. 24(2015). С. 153–163. <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2021.24.14> [Chebrov D.V., Saltykov V.A., Matveenko E.A. et al. Seismicity of Kamchatka and Commander Islands in 2015 // Earthquakes in Northern Eurasia. 2021. Iss. 24(2015). P. 153–163 (in Russian)].

Чеброва А.Ю., Матвеев Е.А. Исследование вариаций сейсмического шума на станциях КФ ГС РАН в 2014 году // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России: Труды Пятой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 27 сентября – 3 октября 2015 г. Обнинск: ГС РАН. 2015. С. 111–116 [Chebrova A.YU., Matveenko E.A. Issledovaniye variatsiy seysmicheskogo shuma na stantsiyakh KF GS RAN v 2014 godu // Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii: Trudy Pyatoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Petropavlovsk-Kamchatskiy. 27 sentyabrya – 3 oktyabrya 2015 g. Obninsk: GS RAS. 2015. P. 111–116 (in Russian)].

Чеброва А.Ю., Чемарев А.С., Матвеев Е.А., Чебров Д.В. Единая информационная система сейсмологических данных в Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН: принципы организации, основные элементы, ключевые функции // Геофизические исследования. 2020. Т. 21. № 3. С. 66–91. <https://doi.org/10.21455/gr2020.3-5> [Chebrova A.YU., Chemarev A.S., Matveenko E.A., Chebrov D.V. Seismological data information system in Kamchatka branch of GS RAS: organization principles, main elements and key functions // Geofizicheskiye issledovaniya. 2020. V. 21. № 3. P. 66–91 (in Russian)].

- Уломов В.И., Богданов М.И., Трифонов В.Г. и др.* Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации. Пояснительная записка к комплекту карт ОСР-2016 и список населенных пунктов, расположенных в сейсмоактивных зонах // Инженерные изыскания. 2016. № 7. С. 49–121 [*Ulomov V.I., Bogdanov M.I., Trifonov V.G. et al.* Eplanatory note on the GSZ-2016 maps set of general seismic zoning of the Russian Federation territory // Engineering Survey. 2016. № 7. P. 49–121 (in Russian)].
- Lecocq T., Hicks S.P., Van Noten K. et al.* Global quieting of high-frequency seismic noise due to COVID-19 pandemic lockdown measures // Science. 2020. V. 369. Iss. 6509. P. 1338–1343. <https://doi.org/10.1126/science.abd2438>
- McNamara D. E., Boaz R.I.* Seismic Noise Analysis System Using Power Spectral Density Probability Density Functions: A Stand-Alone Software Package // Open-File Report. 2005. P. 30. <https://doi.org/10.3133/ofr20051438>
- McNamara D.E., Hutt C.R., Gee L.S. et al.* Method to Establish Seismic Noise Baselines for Automated Station Assessment // Seismological Research Letters. 2009. V. 80. Iss. 4. P. 628–637. <https://doi.org/10.1785/gssrl.80.4.628>
- Poli P., Boaga J., Molinari I. et al.* The 2020 coronavirus lockdown and seismic monitoring of anthropic activities in Northern Italy // Scientific Reports. 2020. V. 10. Iss. 1. P. 9404. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66368-0>
- Roy K.S., Sharma J., Kumar S., Kumar M.R.* Effect of coronavirus lockdowns on the ambient seismic noise levels in Gujarat, northwest India // Scientific Reports. 2021. V. 11. Iss. 1. P. 7148. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86557-9>
- Van Wijk I K., Chamberlain C.J., Lecocq T., Van Noten K.* Seismic monitoring of the Auckland Volcanic Field during New Zealand's COVID-19 lockdown // Solid Earth. 2021. V. 12. Iss. 2. P. 363–373. <https://doi.org/10.5194/se-12-363-2021>

## ANOMALOUS REDUCTION IN THE LEVEL OF SEISMIC NOISE IN PETROPAVLOVSK-KAMCHATSKY IN APRIL 2020

**E.A. Matveenko, D.V. Chebrov**

*Kamchatka Branch of Geophysical Survey of RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia*

Received November 30, 2022; revised May 17, 2023; accepted September 26, 2023

Estimation of the influence of anthropogenic factors on the seismic signal is an important problem in ensuring the quality of seismological data and, accordingly, the quality of scientific research. Due to the unprecedented situation associated with the introduction of measures to prevent the spread of COVID-19, non-working days were established in Russia from April 4 to April 30, 2020. It became possible to assess the impact of a notable decrease in anthropogenic activity on the seismic signal (noise) recorded by seismic instruments in the territory of the largest city of the Kamchatka, Petropavlovsk-Kamchatsky. We study seismic noise by standard technique, based on the analysis of the probability density function of the noise power spectral density obtained from the data of the digital archive of the noise spectra of seismic stations. A decrease in the seismic noise power level below the minimum values of the same periods of previous years was registered at stations installed in schools, residential buildings (boarding schools) or near public and office buildings. The minimal anthropogenic influence stations were selected. The obtained data can be used for determination the features of the work of both stations and individual channels, taking into account their direction and position, relative to the objects of human activity.

*Keywords: seismic signal, anthropogenic noise, noise power spectral density.*