

УДК 550.34.03, 550.34.06

## Расширение сети сейсмических наблюдений на Кольском полуострове

© 2022 г. И.С. Федоров<sup>1</sup>, С.В. Асминг<sup>1</sup>, А.Г. Гоев<sup>2</sup>, С.Г. Волосов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>КоФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты, Россия; <sup>2</sup>ИДГ РАН, г. Москва, Россия

Поступила в редакцию 03.02.2022 г.

**Аннотация.** В июле 2021 г. сеть сейсмологического мониторинга Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН была расширена за счёт открытия новой сейсмостанции, установленной в южной части Кольского полуострова в посёлке Умба (код УМВА). Насущность развития сейсмологической сети в южном направлении продиктована необходимостью повышения детальности мониторинга Кандалакшской зоны возникновения очагов землетрясений (ВОЗ). Согласно современным представлениям, Кандалакшская зона ВОЗ, состоящая из Колвицкого и Кандалакшского грабенов, является потенциально наиболее опасным геологическим объектом в восточной части Балтийского щита. Для выбора места установки новой сейсмической станции проведены рекогносцировочные работы, включавшие оценку уровня фонового сейсмического шума. Приведён анализ шумов в выбранной точке установки сейсмической станции. Показан хороший уровень фоновых шумов в сравнении с моделями NHNM и NLNM. В качестве регистрирующей аппаратуры на новой сейсмической станции используются аналоговый сейсмометр Guralp CMG-6T с диапазоном регистрации 30 с – 50 Гц и регистратор сейсмических сигналов «Ермак-5». Данные в режиме, близком к реальному времени, передаются в Кольский региональный информационно-обрабатывающий центр по каналам мобильного интернета. На примере слабого землетрясения показано, что в новой конфигурации сейсмическая сеть КоФ ФИЦ ЕГС РАН позволяет более уверенно регистрировать и определять координаты эпицентров слабых сейсмических событий локальной магнитудой менее двух в районе Кандалакшской зоны ВОЗ.

**Ключевые слова:** сейсмологическая сеть, сейсмическая станция, спектр плотности мощности шума, Кандалакшская зона ВОЗ.

**Для цитирования:** Федоров И.С., Асминг С.В., Гоев А.Г., Волосов С.Г. Расширение сети сейсмических наблюдений на Кольском полуострове // Российский сейсмологический журнал. – 2022. – Т. 4, № 1. – С. 63–72. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2022.1.05>

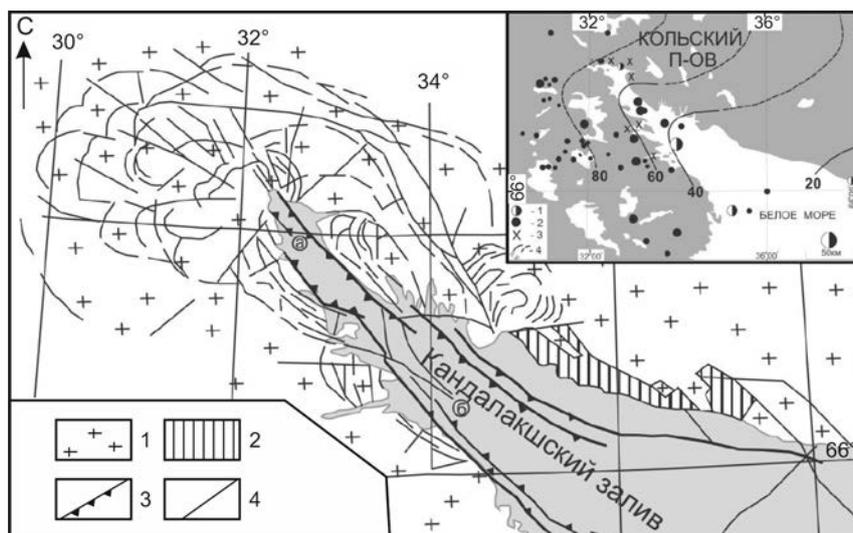
### Введение

Основной сейсмогенной структурой, определяющей сейсмичность юга Кольского полуострова, являются Кандалакшский и Колвицкий грабены. Также по данным многолетних наблюдений Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН [Vinogradov et al., 2016] выделяется Кандалакшско-Куосамская зона. Одной из наиболее активных зон восточной части Фенноскандинавского кристаллического щита является тектоническая впадина Кандалакшского залива – Кандалакшский грабен. Его северный и южный борта ограничивает система активных разломов [Николаева, 2019], карта которых приведена на рис. 1.

Зона Кандалакшского залива отличается от прилегающих районов региона более высоким уровнем сейсмической активности. В настоящее

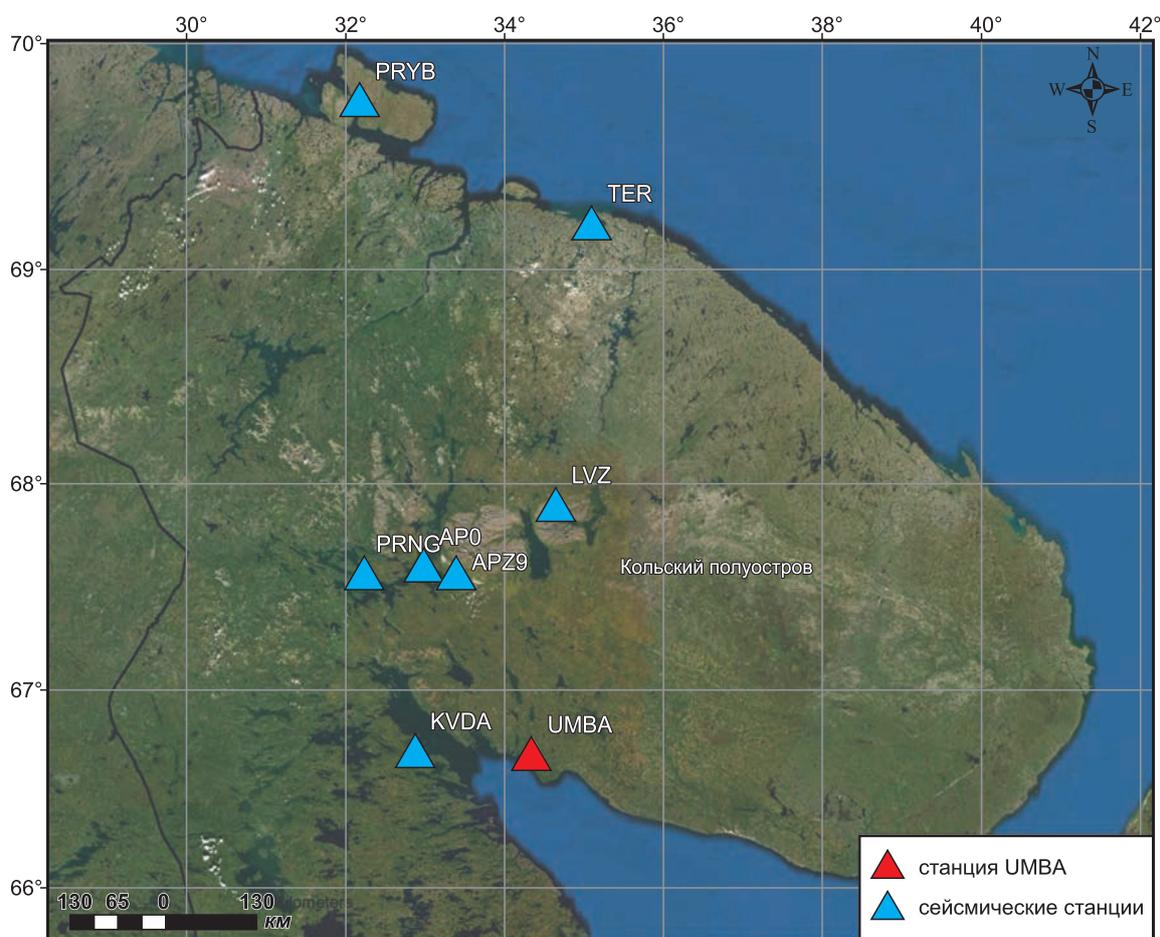
время здесь фиксируются события магнитудой от 2 до 4 единиц. Достоверная регистрация более слабых событий была затруднена в связи с низкой плотностью сейсмических станций в районе.

На начало 2021 г. сеть регионального мониторинга Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН состояла из шести широкополосных станций и одной сейсмической группы, расположенных в центральной области и на севере Кольского полуострова (рис. 2). На юге наблюдаемой территории находится только одна станция, установленная в посёлке Ковда, что явно недостаточно для достоверной локации слабых сейсмических событий. В данной работе описывается процесс установки новой сейсмостанции в посёлке Умба, приводится оценка её чувствительности посредством анализа спектральной плотности мощности фоновых шумов за длительный период времени.



**Рис. 1.** Положение района исследований в общей структуре Беломорской рифтовой системы по [Балуев и др., 2012]. На врезке: эпицентры землетрясений (1542–2003 гг.) в интервале магнитуд 0.9–6.5 по [Асиновская, Никонов, 2004].

На основной карте: 1 – кристаллические породы нижнего докембрия; 2 – рифейские породы; 3 – основные сбросы рифтового грабена; 4 – прочие разломы. Буквами в кружках показаны Колвицкий (а) и Кандалакшский (б) грабены. На врезке: 1 – исторические; 2 – инструментальные, размер значка пропорционален магнитуде; 3 – палеосейсмодислокации; 4 – изобазы гляциоизостатического поднятия Кольского региона за последние 8 тыс. лет [Евзеров и др., 2010]: пунктирной линией – установленные, сплошной – предполагаемые



**Рис. 2.** Региональная сеть сейсмических станций КоФ ФИЦ ЕГС РАН

### Оборудование и место

Качество данных, получаемых с сейсмической станции, во многом зависит от места её расположения и от соблюдения ряда условий установки датчика, позволяющих минимизировать уровень фоновых шумов. Поэтому немаловажной частью работы является предварительное обследование предполагаемого места установки. Оптимальным районом для развития региональной сети наблюдения с целью более детального мониторинга Кандалакшской зоны ВОЗ является северное побережье Белого моря. Для выбора места расположения будущей сейсмостанции были проведены работы по рекогносцировке в Терском районе Мурманской области. Задачей рекогносцировочных работ был подбор площадки, удовлетворяющей четырём основным критериям: подходящие грунтовые условия (скальное обнажение либо достаточно плотные грунты), возможность подключения внешнего электропитания, наличие сотовой связи, обеспечение сохранности оборудования. В результате подготовительных работ такое место, удовлетворяющее всем условиям, было найдено на территории метеорологической станции Мурманского Управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС) в посёлке Умба.

Метеорологическая станция расположена в центре посёлка на холме, представляющем

собой выход скальных пород, перекрытый в отдельных местах осадочными породами. Место установки сейсмической станции было выбрано в непосредственной близости к зданию метеостанции. Этот участок находится под обзором камер наблюдения и имеет относительно ровную поверхность. Выбранная площадка была дополнительно выровнена по горизонтальному уровню. Для снижения высокочастотной помехи и лучшего контакта прибора со скальным основанием место установки сейсмометра было отполировано абразивным инструментом. Вокруг площадки изготовлен бетонный фундамент, необходимый для монтажа короба размещения сейсмометра (рис. 3г). Металлический короб служит для обеспечения сохранности датчика и защиты от внешних воздействий. Для снижения влияния температурных вариаций на низкочастотную область работы сейсмометра выполнено термостатирование сейсмобокса (рис. 3в). Точные координаты датчика: 66.6793°N, 34.3417°E. Станция введена в работу с августа 2021 года.

В качестве датчика используется велосиметр Guralp CMG-6T. Его основные технические характеристики приведены в табл. 1. Данный велосиметр позволяет регистрировать сейсмические события в широком диапазоне частот от 1/30 до 100 Гц, что позволяет решать задачи мониторинга как локальных, так и региональных событий.

**Таблица 1.** Характеристики трёхкомпонентного велосиметра Guralp CMG-6T

Характеристика	Значение
Диапазон рабочих частот (Гц)	0.033–50
Чувствительность (в/м/с)	2×1200 (дифференциальный выход)
Динамический диапазон (дБ)	137 (при 5 Гц)
Напряжение питания (В)	10–30 (постоянный ток)
Диапазон рабочих температур (°С)	от –40 до +75
Масса (кг)	2.49

**Таблица 2.** Характеристики сейсмического регистратора «Ермак-5»

Характеристика	Значение
Разрядность АЦП	24
Количество каналов (шт.)	6
Частота дискретизации (Гц)	от 20 до 2000
Динамический диапазон (дБ)	110
Напряжение питания (В)	5–35 (постоянный ток)
Протоколы обмена данными и управления по IP-сети	HTTP; SEEDlink; TFTP
Максимальный объём энергонезависимой памяти (ГБ)	32
Диапазон рабочих температур (°С)	от –30 до +60
Масса (кг)	0.8

Для оцифровки аналогового сигнала, получаемого с велосиметра, используется сейсмический регистратор «Ермак-5» [Бутырин, 2021]. Регистратор имеет 24-битное АЦП, характеризуется низким энергопотреблением и широким частотным и динамическим диапазоном. Данные сохраняются на встроенную flash-память и одновременно передаются в центр обработки по протоколу SEEDlink. Синхронизация времени осуществляется при помощи встроенного GPS-приёмника. Основные характеристики регистратора приведены в табл. 2. Для электропитания всего оборудования использован источник бесперебойного питания с возможностью подключения внешней аккумуляторной батареи ёмкостью 100 А·ч, что обеспечивает расчётное время автономной работы более восьми суток.

Одной из проблем обеспечения качественного электропитания данной станции являлась организация контура заземления. Надёжный контур заземления необходим как для уменьшения электрических наводок от сторонних источников электрических помех, так и для защиты оборудования во время гроз и от наведённого статического электричества. Скальное основание всей площадки метеостанции не позволяло организовать надёжный контур заземления на месте. Для этой цели на склоне холма был закопан металлический трос длиной порядка 80 м, соединённый с контуром заземления у его подножья.

Регистратор, источник бесперебойного питания и GSM-роутер для передачи данных расположены внутри здания метеостанции (рис. 3б).



**Рис. 3.** Оборудование сейсмической станции «Умба»: а – расположение сейсмического датчика на территории метеорологической станции Мурманского УГМС; б – бокс с оборудованием сейсмостанции (регистратор, GSM-роутер, система питания); в – расположение датчика внутри термостатированного сейсмобиокса; г – подготовленное скальное основание для установки датчика

Схема передачи сейсмических данных на сервер обработки является типовой для КоФ ФИЦ ЕГС РАН и представлена на рис. 4. Передача потоковых данных с регистратора осуществляется через GSM-сеть. В качестве модема, как и на большинстве станций, используется GSM-роутер iRZ RU01. Для защиты передаваемых данных, а также для снятия необходимости в выделенном IP-адресе на каждую станцию, связь осуществляется путём организации VPN-туннеля между модемом и VPN-сервером КоФ ИЦ ЕГС РАН. Такое решение позволяет объединить все станции в единую сеть, что упрощает процесс контроля их работоспособности и получения сейсмических данных.

Единым форматом, используемым для первичного хранения и обработки сейсмических данных в КоФ ФИЦ ЕГС РАН, являются файлы дискового буфера UniDL [Асминг и др., 2021]. Потоковые данные в режиме, близком к реальному времени, по протоколу SEEDlink с регистратора «Ермак-5» передаются на SEEDlink-клиент, запущенный на сервере обработки данных, где они сохраняются в файлы дискового буфера для последующей автоматической обработки комплексом программ NSS и NAS. NSS производит первичное детектирование событий, отбраковку ложных срабатываний, предварительную локацию с определением азимутов поляризационным анализом для трёхкомпонентных станций и алгоритмом beamforming для сейсмических групп [Асминг, Fedorov, 2015]. Вторая программа – NAS – производит ассоциацию данных, полученных NSS для станций сейсмической сети, более точно лоцирует события, формирует Интернет-бюллетень [Асминг и др., 2017]. Параллельно все первичные данные сохраняются в отдельное резервное хранилище.

## Материалы и методы

Разрешающая способность сейсмической станции для локации слабых землетрясений определяется соотношением уровня регистрируемых сейсмических сигналов к уровню сигналов, рассматриваемых как шум. Для сопоставления уровня фонового сейсмического шума в окрестностях сейсмической станции, а, следовательно, и возможности станции регистрировать слабые события, используются модели низкого NLNM (New Low Noise Model) и высокого NHNM (New High Noise Model) уровня шума [McNamara, 2015]. Данные модели представляют собой следствие статистического обобщения результатов обработки обширного массива данных станций.

После завершения всех работ по установке сейсмостанции «Умба» была проведена оценка фоновых шумов станции путём расчёта спектральной плотности мощности (СПМ) шума за различные периоды в дневное и ночное время. На рис. 5 представлен график плотности вероятности СПМ шума, рассчитанный за трое суток для Z-канала. Также были построены графики среднего уровня СПМ шума для каждого канала отдельно за ночной и дневной периоды по данным недели сейсмических записей.

Графики СПМ шума на рис. 6, полученные для всех каналов станции «Умба» за пять суток отдельно для дневного и ночного времени, лежат в пределах кривых высокого и низкого шума приблизительно до периода 20 с, а дальше выходят за границу NHNM. Это обусловлено в первую очередь техническими характеристиками велосиметра CMG-6T. Затем снова наблюдается снижение интенсивности шумов для периодов

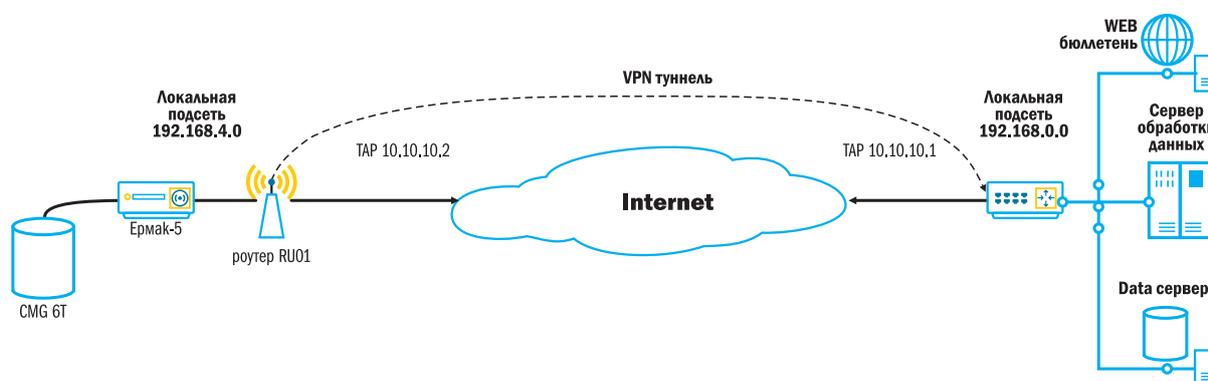


Рис. 4. Схема сети передачи данных с сейсмостанции «Умба» на сервер КоФ ФИЦ ЕГС РАН

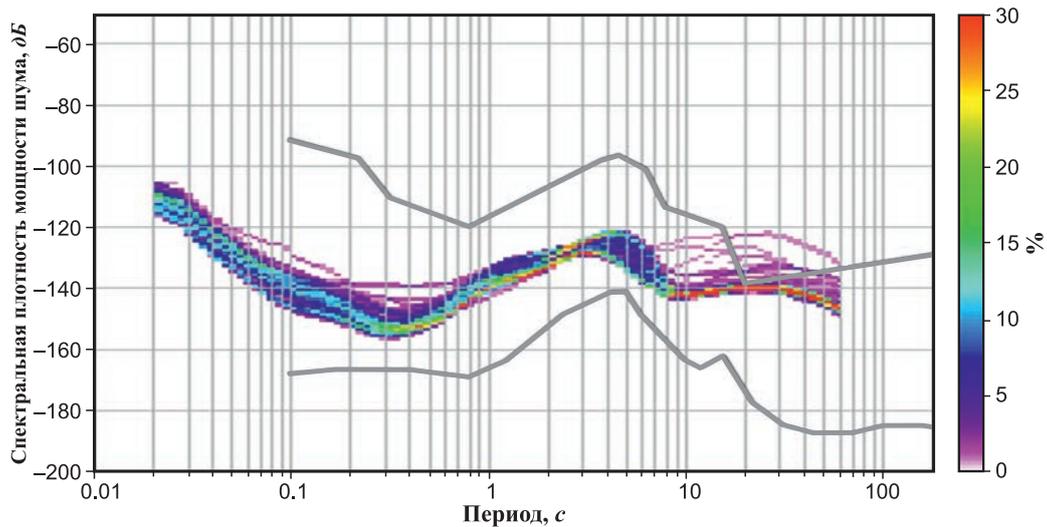


Рис. 5. Плотность вероятности СПМ шума канала Z станции «Умба» за трое суток (26.11.–29.11.2021 г.)

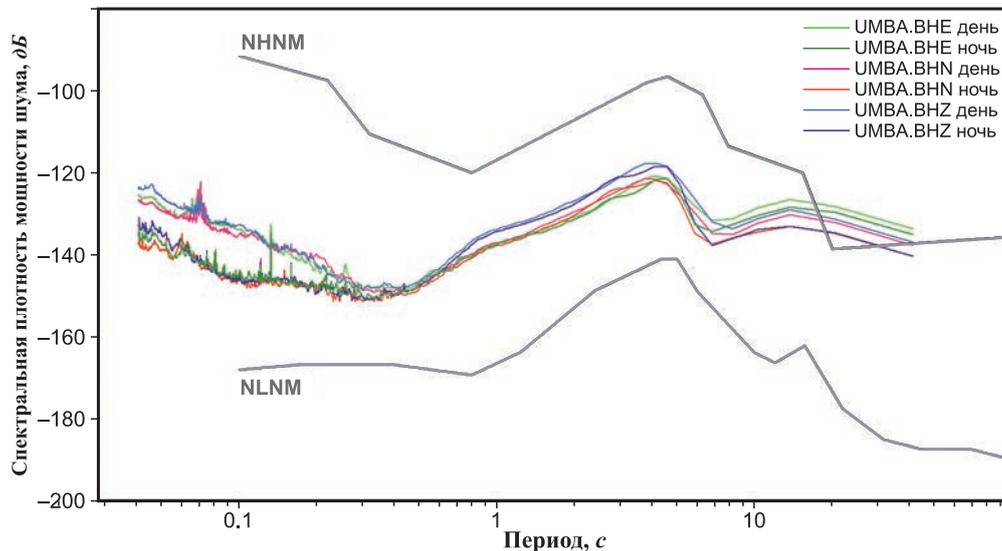


Рис. 6. Средняя СПМ шума по каналам, день и ночь

выше границы документированного диапазона работы датчика в 30 с, связанное с влиянием внутренних фильтров. Сравнение шумов сейсмостанции «Умба» за дневное и ночное время показывает, что график СПМ за дневное время суток располагается выше графика СПМ за ночное время суток.

На рис. 7 сравниваются графики среднего значения СПМ шума в дневное и ночное время только для вертикальной компоненты станции, построенные за трое суток. Условно можно выделить три интервала. В области средних-высоких частот, выше 7 Гц, фоновый шум станции в дневной период превышает шум в ночной на величину от 3 до 10 дБ. Это обусловлено повышением уровня высокочастотных антропогенных помех

в дневное время. В диапазоне от 0.7 до 7 Гц интенсивность СПМ шума практически одинакова. Затем в области низких частот менее 0.7 Гц уровень СПМ шума в дневное время вновь становится выше ночного на величину порядка 3 дБ.

Анализ полученных диаграмм спектральной плотности мощности шума датчика SMG-6T станции «Умба» за различные периоды времени демонстрирует хорошую разрешающую способность на коротких и средних периодах. На длинных периодах график спектра выходит за пределы модели кривой высокого уровня шума. Это затрудняет регистрацию сейсмических событий с периодами более 20 с.

В качестве показательного примера, демонстрирующего расширение регистрирующей способности

сети станций, приведено землетрясение, произошедшее 07.10.2021 г. в 01:40 в Кандалакшском районе. Данное землетрясение имело магнитуду 1.5 и по данным старой конфигурации сети было бы зарегистрировано лишь одной станцией «Ковда», чего явно недостаточно для достоверной локации сейсмического события. На рис. 8 представлены сейсмограммы, полученные станциями «Умба», «Ковда», «Ловозеро», «Териберка», «Апатиты» и Апатитской сейсмической группой.

По рис. 8 видно, что зарегистрировать сейсмическое событие удалось только двум ближайшим станциям – «Ковда» и «Умба». Использо-

вание методов расчёта по временам прихода *P*- и *S*-волн одновременно с поляризационным анализом позволило оценить эпицентр по двум станциям. Однако для более достоверной и точной локации слабых событий на юге Кольского полуострова необходимо дальнейшее наращивание сети станций сейсмического мониторинга.

### Заключение

Установка новой станции «Умба» расширила регистрационные возможности сейсмической сети КоФ ФИЦ ЕГС РАН. Оценка фоновых

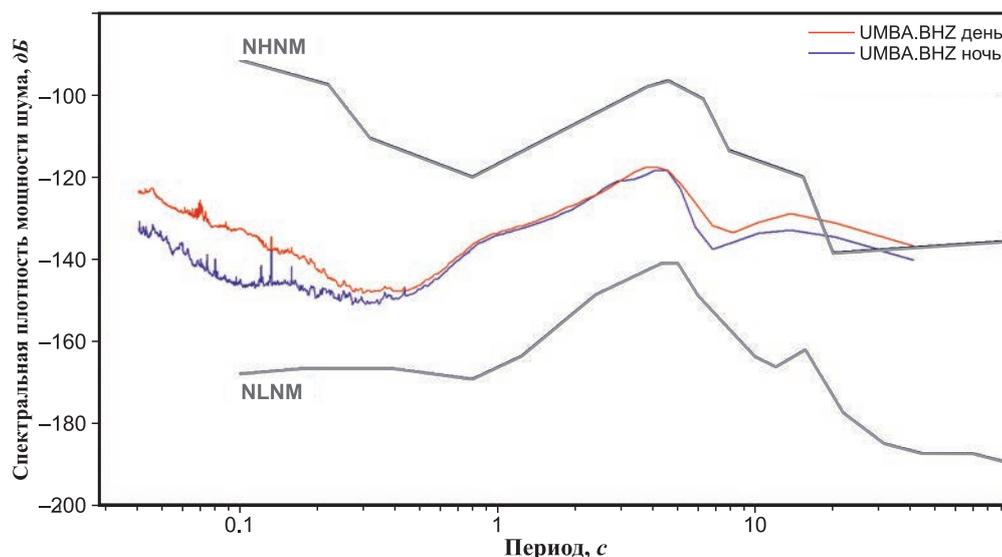


Рис. 7. Средняя СПМ шума для *Z*-компоненты, день и ночь

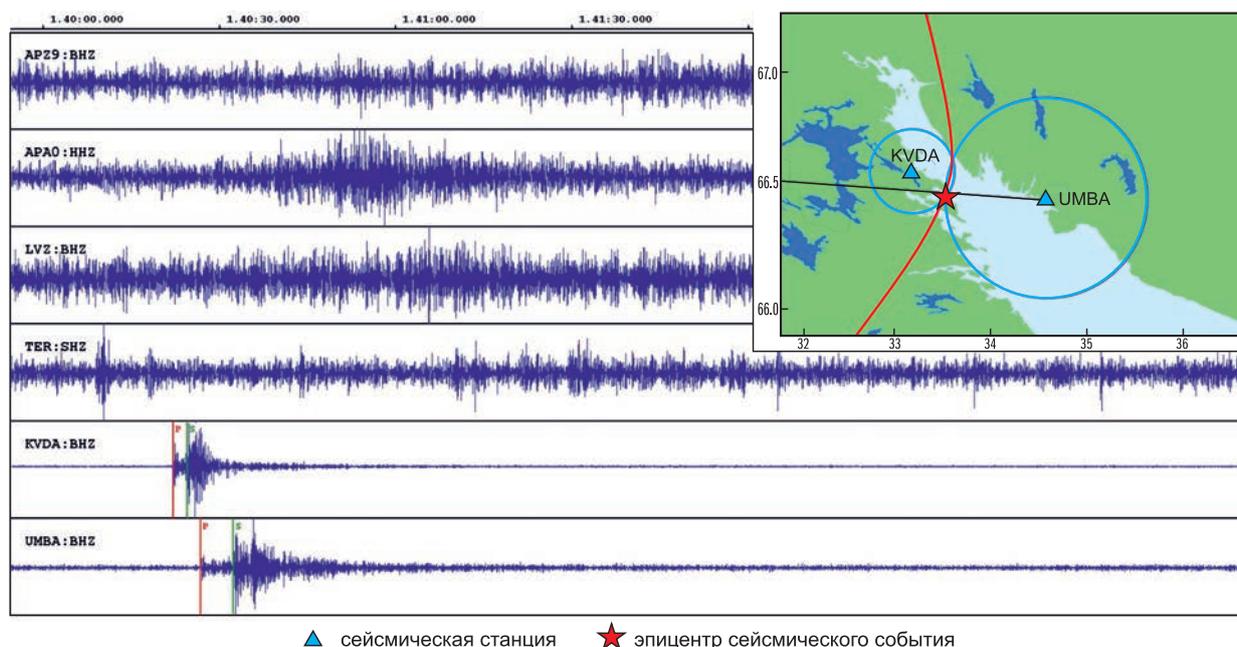


Рис. 8. Сейсмические записи события 07.10.2021 г. в 01:40 станциями Кольской сейсмологической сети (*Z*-компоненты). На врезке – локация события по временам прихода *P*- и *S*-волн

шумов станции путём расчёта спектральной плотности мощности шума показала, что практически во всём регистрируемом диапазоне графики СПМ лежат в интервалах между модельными кривыми низкого и высокого уровня шума. Исключение составляет область низкочастотных колебаний ниже 0.05 Гц. Таким образом, станция показала хорошие возможности для регистрации локальной и региональной сейсмичности.

Расширение сети станций на юг Кольского полуострова позволило лоцировать слабые сейсмические события Кандалакшского залива, что важно для исследования современной тектоники региона. Увеличение числа сейсмических станций также повысило точность автоматической локации событий сетью КоФ ФИЦ ЕГС РАН.

**Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».**

**Работа выполнена в соответствии с темой НИР № 1021052706257-4-1.5.4 и за счёт средств гранта РНФ № 21-17-00161.**

### Литература

Асминг В.Э., Федоров А.В., Прокудина А.В. Программа для интерактивной обработки сейсмических и инфразвуковых записей LOS // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 1. – С. 27–40.

Асминг В.Э., Федоров А.В., Прокудина А.В., Евтюгина З.А. Автоматическая система мониторинга региональной сейсмичности NSDL. Принципы построения и некоторые результаты использования // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XII Международной сейс-

мологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 33–36.

Ассиновская Б.А., Никонов А.А. Сводный каталог землетрясений Карельского региона за 1542–2003 гг. // Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления / Под ред. Н.В. Шарова. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2004. – С. 218–222.

Балуев А.С., Журавлев В.А., Терехов Е.Н., Пржиялговский Е.С. Тектоника Белого моря и прилегающих территорий (Объяснительная записка к «Тектонической карте Белого моря и прилегающих территорий» масштаба 1:1500000) // Труды Геологического института. Вып. 597 / Отв. ред. М.Г. Леонов. – М.: ГЕОС, 2012. – 104 с.

Бутырин П.Г. Цифровой сейсмический регистратор «Ермак-5». Пять лет развития // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 3. – С. 84–94. doi: 10.35540/2686-7907.2021.3.06

Евзеров В.Я., Колька В.В., Корсакова О.П., Николаева С.Б. Реконструкция палеоэкологических обстановок позднего плейстоцена – голоцена в Кольском регионе // Строение и история развития литосферы / Под ред. В.Г. Леонова. – М.: Paulsen, 2010. – С. 491–505.

Николаева С.Б. Последледниковая тектоника и палеосейсмодислокации в районе «Ковды» (Кандалакшский залив, восточная часть Фенноскандинавского щита) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2019. – Т. 64, № 3. – С. 434–453.

Asming V.E., Fedorov A.V. Possibility of using a single three-component station automatic detector–locator for detailed seismological observations // Seismic Instruments. – 2015. – V. 51, N 3. – P. 201–208.

McNamara D.E., Buland R.P. Ambient noise levels in the Continental United States // Bulletin of the Seismological Society of America. – 2004. – V. 94, N 4. – P. 1517–1527.

Vinogradov Yu.A., Asming V.E., Kremenetskaya E.O., Zhironov D.V. Modern seismicity in mining areas in the Murmansk Region // Journal of Mining Sciences. – 2016. – V. 52, Is. 1. – P. 46–52. doi: 10.1134/S1062739116010113

### Сведения об авторах

**Федоров Иван Сергеевич**, мл. науч. сотр. Кольского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (КоФ ФИЦ ЕГС РАН), г. Апатиты, Россия. E-mail: ifedorov@krsc.ru

**Асминг Светлана Викторовна**, уч. секретарь КоФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты, Россия. E-mail: asmingSV@krsc.ru

**Гоев Андрей Георгиевич**, ст. науч. сотр. Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук (ИДГ РАН), г. Москва, Россия. E-mail: andr.goev@gmail.com

**Волосов Сергей Георгиевич**, ст. науч. сотр. ИДГ РАН, г. Москва, Россия. E-mail: volosovc@mail.ru

## Expansion of the seismological monitoring network on the Kola Peninsula

© 2022 I.S. Fedorov<sup>1</sup>, S.V. Asming<sup>1</sup>, A.G. Goev<sup>2</sup>, S.G. Volosov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>KoD GS RAS, Apatity, Russia; <sup>2</sup>IDG RAS, Moscow, Russia

Received February 3, 2022

**Abstract** In July 2021, the seismological monitoring network of the Kola Branch of the Geophysical Survey of the Russia Academy of Sciences was expanded by installing a new seismic station. It is installed in the southern part of the Kola Peninsula in the village of Umba (station code UMBA). The expansion of the seismological network to the south has improved the monitoring detail of the Kandalaksha earthquake source zone. According to modern concepts, the Kolvitsky and Kandalaksha grabens are potentially the most seismically hazardous object in the eastern part of the Baltic Shield. To select the location of the new seismic station, reconnaissance work was carried out. This work included an assessment of the level of background seismic noise. The article presents an analysis of noise power spectral density for seismic station UMBA. A low level of background noise is shown in comparison with the NHHM and NLNM models. The following equipment is used at the seismic station: Guralp 6T analog seismometer (registration range 30 s - 50 Hz) and seismic signal recorder “Ermak-5”. Seismic data is transmitted in near real time to the Kola Regional Processing Center via mobile Internet channels. The ability to register weak seismic events with a local magnitude of less than 2 in the area of the Kandalaksha seismic zone and accurately determine the coordinates of their epicenters is shown by the example of a weak earthquake.

**Keywords** Seismological network, seismic station, noise power spectral density, Kandalaksha seismic zone.

**For citation** Fedorov, I.S., Asming, S.V., Goev, A.G., & Volosov, S.G. (2022). [Expansion of the seismological monitoring network on the Kola Peninsula]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 4(1), 63-72. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2022.1.05>

### References

- Asming, V.E., & Fedorov, A.V. (2015). Possibility of using a single three-component station automatic detector-locator for detailed seismological observations. *Seismic Instruments*, 51(3), 201-208.
- Asming, V.E., Fedorov, A.V., & Prokudina, A.V. (2021). [The program LOS for interactive seismic and infrasonic data processing]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 3(1), 27-40. (In Russ.).
- Asming, V.E., Fedorov, A.V., Prokudina, A.V., & Evtugina, Z.A. (2017). [Automatic system for monitoring of regional seismicity NSDL. Principles of construction and some application results]. In *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh. Materialy XII Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly. Otv. red. A.A. Malovichko* [Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Proceedings of the XII International Seismological Workshop. Ed. A.A. Malovichko] (pp. 33-36). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Assinovskaya, B.A., & Nikonov, A.A. (2004). [Master catalog of earthquakes in the Karelian region for a period of years 1542–2003]. In *Glubinnoe stroenie i seismichnost' Karel'skogo regiona i ego obramleniia. Pod red. N.V. Sharova* [Deep structure and seismicity of the Karelian region and its framing. Ed. N.V. Sharov] (pp. 218-222). Petrozavodsk, Russia: Karelian Scientific Center RAS Publ. (In Russ.).
- Baluev, A.S., Zhuravlev, V.A., Terekhov, E.N., & Przhialgovskii, E.S. (2012). [Tectonics of the White Sea and adjacent areas (The explanatory notes to the “Tectonic map of the White Sea and adjacent areas”, at a Scale of 1:1500000)]. In *Trudy Geologicheskogo instituta. Vyp. 597. Otv. red. M.G. Leonov* [Proceedings of the Geological Institute. Iss. 597. Ed. M.G. Leonov]. Moscow, Russia: GEOS Publ., 104 p.
- Butyrin, P.G. (2021). [Digital seismic logger “Ermak-5”. Five years of development]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 3(3), 84-94. (In Russ.). <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.3.06>
- Evzerov, V.Ya., Kol'ka, V.V., Korsakova, O.P., & Nikolaeva, S.B. (2010). [Reconstruction of paleoecological settings of the late Pleistocene - Holocene in the Kola region]. In *Stroenie i istoriia razvitiia litosfery. Pod red. V.G. Leonova* [Structure and history of the development of the lithosphere. Ed. V.G. Leonov] (pp. 491-505). Moscow, Russia: Paulsen Publ. (In Russ.).

- McNamara, D.E., & Buland, R.P. (2004). Ambient noise levels in the Continental United States. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94(4), 1517-1527.
- Nikolaeva, S.B. (2019). [Post-glacial tectonics and paleoseismodislocations in the Kovda region (Kandalaksha Bay, eastern part of the Fennoscandinavian Shield)]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle* [Bulletin of St. Petersburg University. Earth sciences], 64(3), 434-453. (In Russ.).
- Vinogradov, Yu.A., Asming, V.E., Kremenetskaya, E.O., & Zhironov, D.V. (2016). Modern seismicity in mining areas in the Murmansk Region. *Journal of Mining Sciences*, 52(1), 46-52. <https://doi.org/10.1134/S1062739116010113>

### Information about authors

**Fedorov Ivan Sergeevich**, Junior Researcher of the Kola Division of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (KoD GS RAS), Apatity, Russia. E-mail: ifedorov@krsc.ru

**Asming Svetlana Viktorovna**, Academic Secretary of the KoD GS RAS, Apatity, Russia. E-mail: asmingSV@krsc.ru

**Goev Andrey Georgiyevich**, Senior Researcher of the Institute of Geospheres Dynamics of the Russian Academy of Sciences (IDG RAS), Moscow, Russia. E-mail: andr.goev@gmail.com

**Volosov Sergey Georgiyevich**, Senior Researcher of the IDG RAS, Moscow, Russia. E-mail: volosovc@mail.ru