

Научная статья

УДК 550.34.03, 550.34.06

DOI 10.46698/VNC.2023.56.33.001

О расширении сети сейсмических наблюдений на территории Северной Осетии-Алании

Анна Анатольевна Саяпина

Северо-Осетинский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (СОФ ФИЦ ЕГС РАН), директор, Россия, г. Владикавказ, a_sayapina@gsras.ru

Татьяна Валерьевна Чивиева

СОФ ФИЦ ЕГС РАН, Сектор сейсмологических наблюдений, начальник сектора, Россия, г. Владикавказ, chivieva-t-v@yandex.ru

Михаил Сергеевич Пятунин

ФИЦ ЕГС РАН, Лаборатория методики обработки сейсмических наблюдений, младший научный сотрудник, Россия, г. Обнинск, mishkas30@yandex.ru.

Аннотация. На территории Республики Северная Осетия-Алания в 2019 и 2021 годах проведено расширение сети сейсмических наблюдений Северо-Осетинского филиала ФИЦ ЕГС РАН за счет открытия двух цифровых сейсмических станций в селе Майрамадаг и поселке Попов Хутор, для повышения чувствительности сети в области Владикавказской зоны возникновения очагов землетрясений (ВОЗ). В работе приведены сведения о выборе мест размещения новых пунктов наблюдений, технические характеристики установленной аппаратуры, проведена оценка спектральных мощностей шума в сравнении со среднемировыми кривыми шума Петерсона, построены модели скоростных разрезов методом спектрального анализа поверхностных волн для площадок размещения станций. На примере слабого землетрясения показано, что благодаря новым станциям стало возможным регистрировать сейсмические события в районе Владикавказской зоны ВОЗ, которые при прежней конфигурации сети остались бы незамеченными.

Ключевые слова: сейсмическая станция, микросейсмический шум, спектральный анализ поверхностных волн

Для цитирования: Саяпина А.А., Чивиева Т.В., Пятунин М.С. О расширении сети сейсмических наблюдений на территории Северной Осетии-Алании // Вестник Владикавказского научного центра. 2023. Т. 23. № 4. С. 81–87. DOI 10.46698/VNC.2023.56.33.001

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) 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» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

About the expanding of the seismic observation network on the territory of the Republic of North Ossetia-Alania

Anna A. Sayapina

North Ossetian branch of the Federal Research Center "Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences" (NOB FRC UGS RAS), Director, Vladikavkaz, Russia, a_sayapina@gsras.ru

Tatyana V. Chivieva

NOB FRC UGS RAS, Sector of seismological observations, Head of the sector, Vladikavkaz, Russia, chivieva-t-v@yandex.ru

Mikhail S. Pyatunin

Federal Research Center "Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences" (FRC UGS RAS), Laboratory of methods of processing seismic observations, Junior Researcher, Obninsk, Russia, mishkas30@yandex.ru.

Abstract. On the territory of the Republic of North Ossetia-Alania (RNO-Alania) in 2019 and 2021, the seismic observation network of the North Ossetian branch of the Federal Research Center EGS RAS was expanded by opening two digital seismic stations in the village of Mayramadag and the village of Popov Khutor, to increase the sensitivity of the network in the region Vladikavkaz earthquake zone (EZ). This article provides information about location determination for new observation points and technical characteristics of the installed equipment, an estimation of the spectral noises power of every new station in comparison with the model of seismic background noise (Peterson, 1993). Also has been built the velocity profiles for every of new station sites, using the method of spectral analysis of surface waves (SASW). Using the example of a weak earthquake, it is shown that with help of the new stations it is became possible to record seismic events in the Vladikavkaz EZ, which would have gone unnoticed with the previous network configuration.

Keywords: seismic station, microseismic noise, spectral analysis of surface waves

For citation: Sayapina A.A., Chivieva T.V., Pyatunin M.S. About expanding of the seismic observation network on the territory of the Republic of North Ossetia-Alania // Bulletin of the Vladikavkaz Scientific Center. 2023. Vol. 23.No 4. P. 81–87. DOI 10.46698/VNC.2023.56.33.001

ВВЕДЕНИЕ

Северо-Осетинский филиал является одним из 11 обособленных подразделений Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН), осуществляющего исследования сейсмических процессов на глобальном, федеральном и региональном уровнях, а также связанных с проявлениями сейсмичности вариаций геофизических и геодинамических процессов [1, с. 2]. Непрерывный сейсмический мониторинг на Северном Кавказе, являющемся наиболее сейсмоактивным и густонаселенным в европейской части России, обеспечивается 4 сетями наблюдений ФИЦ ЕГС РАН: NOGSR, OBGSR, KMGR и DAGSR [2, с. 17] и включает более 60 сейсмостанций, передающих данные в информационно-обрабатывающие центры (ИОЦ) всех участников наблюдений в режиме, близком к реальному времени.

С 2001 года на территории РСО-А функционирует развернутая Северо-Осетинским филиалом ФИЦ ЕГС РАН [3, с. 59] сеть сейсмических наблюдений (СОН) NOGSR [4] и на начало 2019 года она включала 2 широкополосных и 9 короткопериодных станций. Историческая и современная сейсмичность в республике концентрируется вблизи или в пределах десяти зон ВОЗ, выделенных Е.А. Рогожиным в 2008 году, среди которых Владикавказская с максимальной магнитудой ожидаемых землетрясений $M_{\text{макс}} = 6.5-7.1$ представляет наибольшую опасность [5, с. 243]. Зона имеет западную и восточную ветви и обладает крупнейшей региональной флексуно-разрывной системой нарушений в породах палеогена, миоцена и в плиоцен-четвертичных слоях. Надежная регистрация слабых природных сейсмических событий в пределах Владикавказской зоны ВОЗ только по одной сейсмостанции «Владикавказ» весьма затруднительна. Тем более что на качество записей станции существенно влияют сейсмические шумы городских инфраструктурных объектов. Для улучшения регистрационных возможностей ССН и изучения слабой сейсмичности рассматриваемой зоны в 2019 и 2021 годах проведена установка двух новых сейсмических станций в населенных пунктах Майрамадаг и Попов Хутор. В данной работе описываются рекогносцировочные работы, оценка уровней микросейсмического шума в местах установки станций, их аппаратное оснащение, а так-

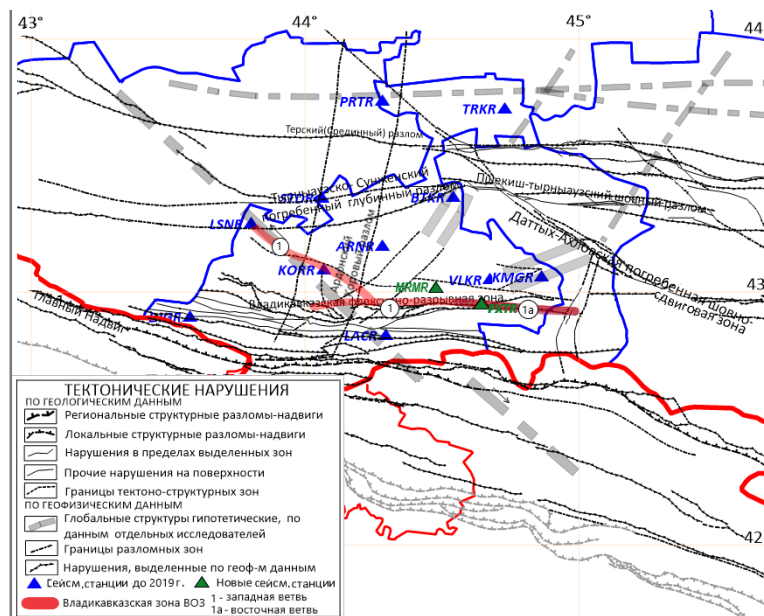


Рис. 1. Конфигурация сети сейсмических станций СОФ ФИЦ ЕГС РАН

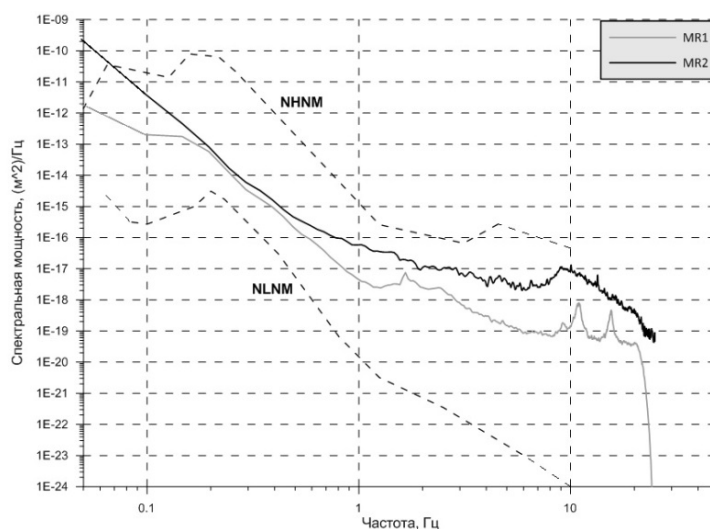


Рис. 2. Сравнение уровней спектральной мощности шума для вертикальных компонент временных станций MR1 и MR2

же приведены результаты теоретических расчетов скоростных моделей среды на глубину до 30 м в местах размещения пунктов наблюдения по спектральному анализу поверхностных волн.

СВЕДЕНИЯ О ПРОВЕДЕНИИ РЕКОГНОСЦИРОВОЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Тщательный выбор участка для размещения сейсмической станции является основой для ее успешной работы, так как способность сейсмостанции производить качественную запись волновых форм сейсмических событий в большей степени определяется шумовыми характеристиками ее места расположения.



Рис. 3. Сейсмические датчики на выносном постаменте

Сейсмическая станция «Майрамадаг»

Решение установить сейсмическую станцию на окраине села Майрамадаг было принято в связи с регистрацией в его районе роев землетрясений в 2004, 2007, 2011 и 2019 годах, причем последний из них сопровождался двумя слабо ощутимыми землетрясениями, произошедшими 15 февраля в 13:37 UTC с $K_p = 9.2$ и в 16:05 UTC с $K_p = 9.4$ [6, с. 61]. Их очаги совпали по координатам эпицентров $\varphi = 42.99^\circ \text{N}$, $\lambda = 44.50^\circ \text{E}$ и по глубине $h = 11$ км.

Исходя из необходимых требова-



Рис. 5. Расположение временных станций в с. Чми, с. Балта и Попов Хутор

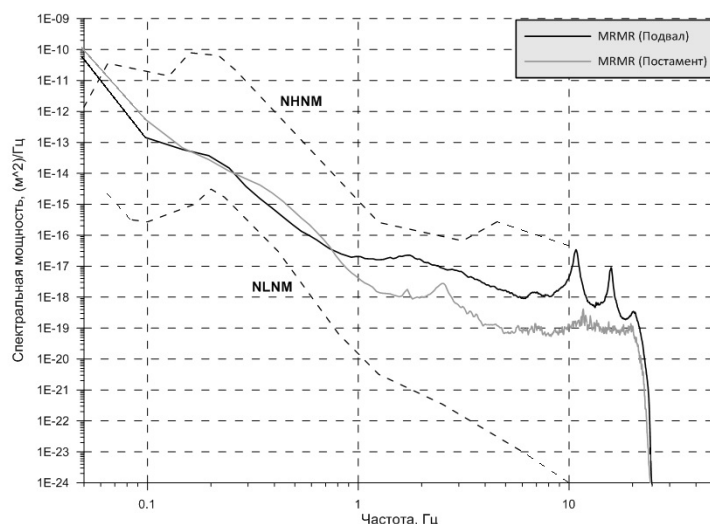


Рис. 4. Сравнение уровней спектральной мощности шума на станции «Майрамадаг» в подвале и на постаменте

Таблица 1
Характеристики сейсмической аппаратуры станции «Майрамадаг»

Регистратор сейсмических сигналов SDAS V3.2	
Частотный диапазон для каждого канала (Гц)	0-30
Динамический диапазон (дБ)	96
Разрядность АЦП	16
Рабочая температура (°C)	от -20 до +40
Напряжение (В)	10-36
Сейсмический приемник СМЗ-КВ	
Период собственных колебаний сейсмоприемника (с)	2
Рабочий диапазон (Гц)	0,5- 20
Рабочая температура (°C)	-10 до +40
Масса (кг)	8,2

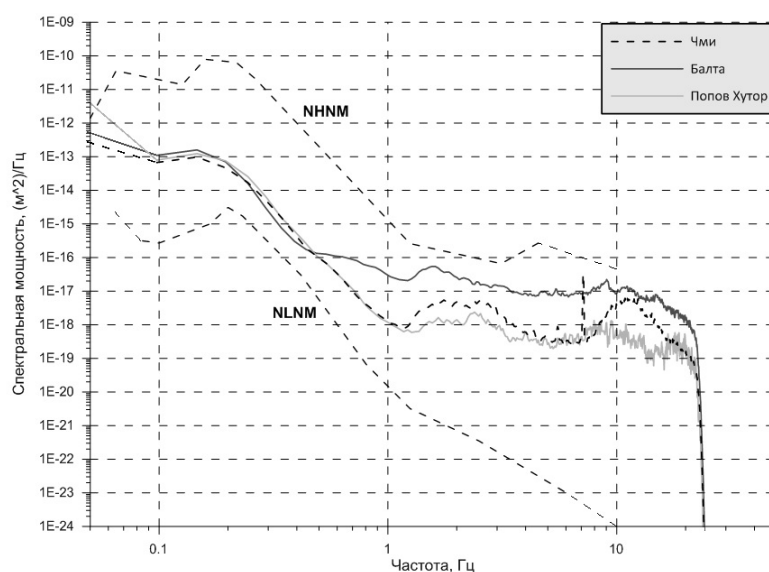


Рис. 6. Сравнение уровней спектральной мощности шума вертикальных компонент станций в с. Чми, с. Балта и Попов Хутор

ний по установке сейсмо-станций – наличия необходимой инфраструктуры для ее функционирования (подъездные пути, возможность организации каналов передачи данных и др.), а также максимального удаления от природных (реки, лесные зоны и т. п.) и техногенных объектов (дороги, объекты хозяйственной деятельности и т. п.), способных генерировать помехи при регистрации полезных сигналов, – в пределах села Майрамадаг были определены два возможных места размещения временных станций с условными названиями MR1 и MR2. Для выбора наиболее подходящего из них в обоих местах в идентичных условиях были установлены комплекты однотипного оборудования с одинаковыми настройками. Измерения проводились одновременно в течение 9 суток.

Так как важнейшей характеристикой качества работы сейсмостанции является уровень регистрируемых ею микросейсмических шумов, для обеих станций проводилась оценка фоновых микросейсмическим методом расчета суточной спектральной мощности шума по вертикальной компоненте в сравнении со среднемировыми кривыми шума Петерсона [7]. Из полученных графиков спектральных мощностей сейсмического шума видно, что станция MR1 в сравнении с MR2 более «тихая» во всем диапазоне регистрируемых частот (рис. 2). Поэтому было решено разместить постоянную станцию на площадке MR1, и 6 декабря 2019 года в подвальном помещении частного домовладения была запущена сейсмостанция «Майрамадаг» с зарегистрированным международным кодом MRMR.

Станция оснащена регистратором SDAS V 3.2 и короткопериодными сейсмоприемниками СМЗ-КВ (табл. 1), а также резервным питанием, включающим аккумуляторную батарею емкостью 100 А/ч и контроллер, позволяющий производить переключение между сетевым и автономным питанием. Полученные данные передаются по мобильной связи (2G/3G-технология) в ИОЦ в режиме, близком к реальному времени. Для минимизации уровня сейсмического шума спустя 8 месяцев датчики станции

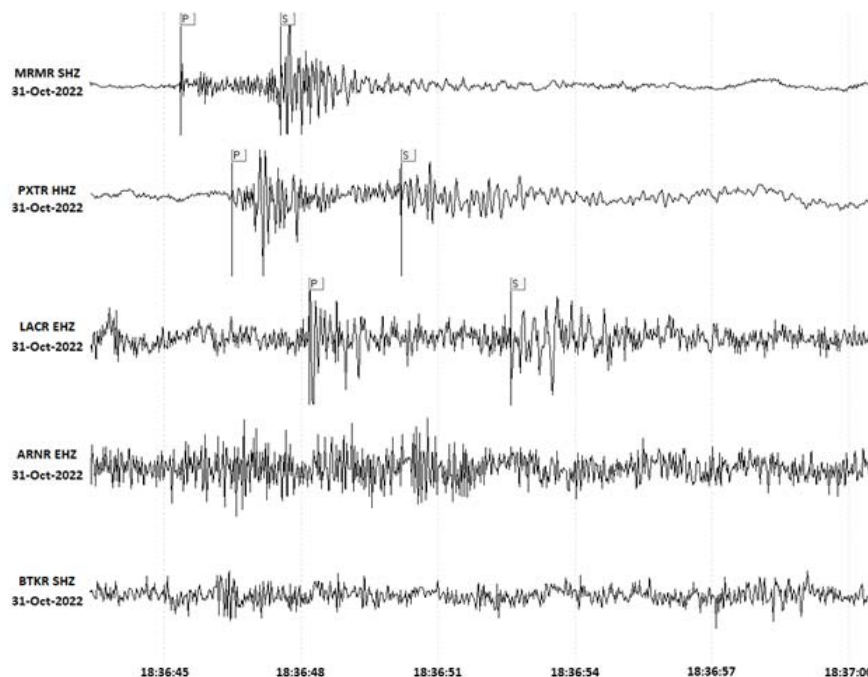


Рис. 7. Запись землетрясения 31.10.2022 года в 18:36 UTC с $K_p=5$

были вынесены из подвального помещения под жилым домом на специально сооруженный бетонный постамент, удаленный на 30 метров. Для обеспечения сохранности и снижения влияния погодных условий сейсмоприемники укрыты металлическим коробом (рис. 3).

Вынос датчиков за пределы жилого помещения значительно снизил уровень микросейсмического шума во всем диапазоне частот, а также позволил устранить пики на частотах выше 10 Гц, что подтверждается сравнением спектров уровней сейсмического шума, регистрируемого датчиками в подвале и на сеймопостаменте (рис. 4).



Рис. 8. Схема наблюдений по методике САПВ в активном (а) и пассивном (б) режимах

Таблица 2

Характеристики велосиметра Guralp3ESPCDE со встроенным регистратором GuralpDM-24

№ слоя	Характеристика грунта	V_p , м/с	V_s , м/с	ρ , г/см ³	h , м
1	Суглинки	403	180	2.18	1.9
2	Суглинок с щебнем, гравием и обломками горных пород	485	264	2.3	24.4
3	Глина твердая с щебнем и обломками горных пород	1643	739	2.34	28.6
4	Скальные породы трещиноватые, в верхней части разрушенные	3666	1433	2.36	32.9

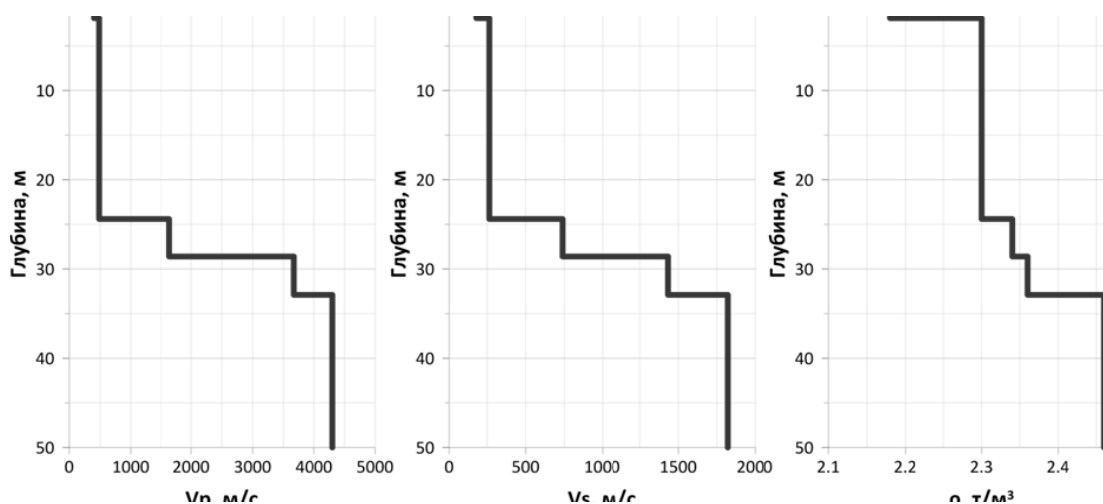


Рис. 9. Распределение скоростей продольных (V_p), поперечных (V_s) волн и плотности (ρ) в районе размещения станции «Майрамадаг»

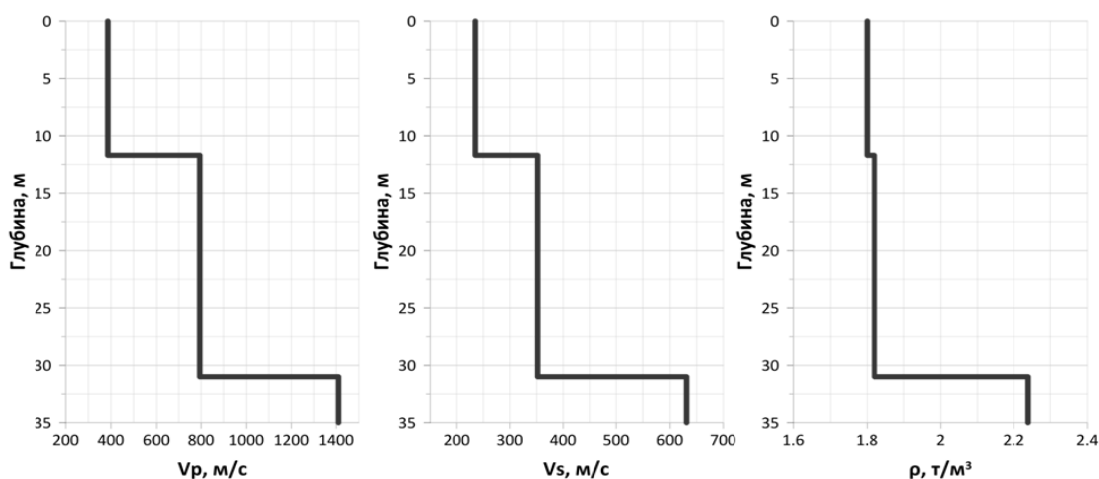


Рис. 10. Распределение скоростей продольных (V_p), поперечных (V_s) волн и плотности (ρ) в районе размещения станции «Попов Хутор»

Сейсмическая станция «Попов Хутор»

С целью расширения сети наблюдений СОФ в южной части республики и улучшения чувствительности сети наблюдения на юге РСО-Алании и в приграничной полосе с Грузией, в рамках проекта «Глубинное строение и сейсмическая структура Большого Кавказа» [8, с. 3], были исследованы три

пункта временного размещения широкополосных сейсмостанций в населенных пунктах Чми, Балта и Попов Хутор (рис. 5).

Оценка уровней фонового сейсмического шума по вертикальным компонентам трех станций показала, что кривая спектральной мощности сейсмического шума на пункте наблюдения Попов Хутор стремится к условной средней линии мировой мо-

Таблица 3

Характеристики грунта, полученные на станции «Майрамадаг»

№ слоя	Характеристика грунта	V_p , м/с	V_s , м/с	ρ , г/см ³	h , м
1	Суглинки	403	180	2.18	1.9
2	Суглинок с щебнем, гравием и обломками горных пород	485	264	2.3	24.4
3	Глина твердая с щебнем и обломками горных пород	1643	739	2.34	28.6
4	Скальные породы трещиноватые, в верхней части разрушенные	3666	1433	2.36	32.9

Таблица 4

Характеристики грунта, полученные на станции «Попов Хутор»

№ слоя	Характеристика грунта	V_p , м/с	V_s , м/с	ρ , г/см ³	h , м
1	Суглинки	386	235	1.80	11.7
2	Суглинок с щебнем, гравием и обломками горных пород	794	352	1.82	19.3
3	Глина твердая с щебнем и обломками горных пород	1410	631	2.24	-----

дели шума Петерсона, что свидетельствует о меньшей зашумленности места нахождения станции по отношению к двум другим (рис. 6).

С учетом проведенных исследований 1 сентября 2021 года была открыта новая сейсмическая станция «Попов Хутор» с международным кодом – PXTR. Она оснащена широкополосным велосметром Guralp 3ESPCDE со встроенным 24-разрядным регистратором GuralpDM-24 (табл. 2), который имеет выход в Интернет посредством подключения к нему GSM-роутера и передает данные в ИОЦ во Владикавказе в режиме, близком к реальному времени. Для обеспечения резервного электропитания используется АКБ емкостью 65 А/ч и контроллер питания, позволяющий в автоматическом режиме производить переключение между сетевым и автономным источниками питания.

РЕГИСТРАЦИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НОВЫМИ СЕЙСМИЧЕСКИМИ СТАНЦИЯМИ

Запуск новых сейсмических станций позволил расширить регистрирующую способность сейсмической сети Северо-Осетинского филиала, что подтверждается примером записи локального землетрясения (рис. 7) с энергетическим классом $K_p = 5.1$, произошедшего 31.10.2022 г. в 18:36 UTC в Алагирском районе Северной Осетии. Известно, что для наиболее надежного определения основных параметров очага землетрясения методом засечек необходимо наличие записей не менее, чем с трех станций [9, с. 25].

Из рисунка видно, что по данным конфигурации сети, функционирующей до изменений, сейсмическое событие зарегистрировано только одной станцией «Ардон» и его удалось локализовать только благодаря двум новым сейсмостанциям – «Майрамадаг» и «Попов Хутор». Рассматриваемое землетрясение является одним из 50 сейсмических событий с $K_p = 3.5–7.6$, образовавших рой с 31 октября по 4 ноября вблизи западной ветви Владикавказской зоны ВОЗ [5, с. 243], и 35 из них не представилось бы возможным локализовать старой конфигурацией сети наблюдений.

ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТА В МЕСТАХ РАЗМЕЩЕНИЯ СТАНЦИЙ

Для определения сейсмических характеристик (скорости продольных, поперечных и поверхност-

ных волн, плотности среды) с выходом на литологический состав грунтов геологического разреза на глубину до 30 метров в местах установки сейсмических станций «Майрамадаг» и «Попов Хутор» были проведены исследования по методике САПВ – спектральный анализ поверхностных волн. Характеристики разреза необходимы для учета сайт-эффекта в районе размещения сейсмической станции, т. е. для оценки конкретного характера реакции грунтов на внешние сейсмические воздействия на различных частотах.

Данный вид исследований проводился в двух режимах (рис. 8а, 8б):

- регистрация сейсмических волн, возбуждаемых ударным способом (активный режим);
- регистрация микросейсмических шумов (пассивный режим – непрерывная регистрация в течение 2 часов всего волнового поля микросейсм).

Результаты обработки данных для сейсмических станций «Майрамадаг» и «Попов Хутор» методом САПВ представлены на рисунках 9 и 10 – показаны результаты скоростных разрезов V_p и V_s волн, изменения плотности с глубиной.

Цель наблюдений состояла в получении данных о поверхностных волнах в частотном диапазоне 3–20 Гц.

На основе результатов обработки данных были проведены теоретические расчеты скоростной модели среды на глубину до 30 м. Оценка характеристик модели на основе САПВ включает в себя:

- 1) расчет значений фазовой скорости поверхностных волн по материалам специальных измерений;
- 2) подбор скоростной модели среды, соответствующей рассчитанным значениям фазовой скорости (дисперсионной кривой).

Параметры подобранных моделей для сейсмических станций «Майрамадаг» и «Попов Хутор» указаны в таблицах 3 и 4. Модели имеют привязку к грунтам сводного инженерно-геологического разреза, составленного на основании данных геологических карт [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ввод в эксплуатацию новых сейсмических станций «Майрамадаг» и «Попов Хутор» заметно улучшил геометрию сети наблюдений, повысил ее чувствительность на юго-востоке Республики Северная Осетия-Алания и в приграничной полосе с Грузи-

ей, а также в районе Владикавказской зоны ВОЗ, что важно при изучении всевозможных проявлений

слабой локальной сейсмичности и для исследования современной тектоники региона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дягилев Р.А., Сдельникова И.А. Уникальная научная установка «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» // *Геодинамика и Тектонофизика*. 13 (2), 0591. <https://doi.org/10.5800/GT-2022-13-2s-0591>
2. Габсатарова И.П., Коломиец Ю.Н., Королецки Л.Н., Адюлов А.З., Магомедов Х.Д., Саяпина А.А., Багаева С.С., Походенко В.П., Иванова Л.Е. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Северный Кавказ // *Землетрясения России в 2021 году*. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2023. С. 17–24.
3. Саяпина А.А., Багаева С.С., Горожанцев С.В. Краткая история создания и этапы развития сейсмологической службы в Республике Северная Осетия-Алания // *Вестник ВНЦ РАН*. 2019. Т. 19. № 2. С. 56–65.
4. North Osetia Branch of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences. (1993). North Osetia Regional Seismic Network of the Russian Federation [Data set]. International Federation of Digital Seismograph Networks. <https://doi.org/10.7914/kmx2-4r56>
5. Рогожин Е.А., Габсатарова И.П., Погода Э.В. Зоны ВОЗ и сейсмичность территории Республики Северная Осетия-Алания // *Землетрясения Северной Евразии*. Материалы Международной конференции, посвященной 10-летию вы-
- пуска сборника научных трудов «Землетрясения Северной Евразии», Обнинск, 28–31 июля 2008 г. – Обнинск: ГС РАН, 2008. С. 243–249.
6. Саяпина А.А., Дмитриева И.Ю., Багаева С.С., Гричуха К.В., Горожанцев С.В. Сейсмическая активность в районе села Майрамадаг Республики Северная Осетия-Алания в 2019 году // *Вестник ВНЦ РАН*. 2019. Т. 19. № 4. С. 60–64.
7. Peterson, J. Observations and modeling of seismic background noise. U.S. Geol. Survey Open-File Report 93-322. 1993. 95 p.
8. Sandvol E.A., Nabelek J.L., Mackey K.G., Malovichko A.A., Dyagilev R.A., Vinogradov Yu.A., et al. Uplift and seismic structure of the Greater Caucasus. Second stage of project // *Современные методы обработки интерпретации сейсмологических данных*. Тезисы XIV Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. С. 3–7.
9. Акимов А.П., Пойгина С.Г. Программный комплекс WSGv 5.56x Руководство оператора по обработке сети станций. – Обнинск, 2007.
10. Северо-Кавказский Федеральный Округ, Республика Северная Осетия-Алания, геологическая карта. Актуализированные ГИС-пакеты оперативной геологической информации (ГИС-Атлас «Недра России»): <http://atlaspacket.vsegei.ru/>

REFERENCES

1. Dyagilev R.A., Sdel'nikova I.A. Unikalnaya nauchnaya ustanovka «Sejsmoinfrazvukovoj kompleks monitoringa arkticheskoy kriolitozony i kompleks nepreryvnogo sejsmicheskogo monitoringa Rossijskoj Federacii, sopredel'nyx territorij i mira» // *Geodinamika i Tektonofizika*. 13 (2), 0591. <https://doi.org/10.5800/GT-2022-13-2s-0591>
2. Gabsatarova I.P., Kolomicz Yu.N., Koroleczki L.N., Adilov A.Z., Magomedov X.D., Sayapina A.A., Bagaeva S.S., Poxodenko V.P., Ivanova L.E. Rezul'taty sejsmicheskogo monitoringa razlichnyx regionov Rossii. Severnyj Kavkaz // *Zemletryaseniya Rossii v 2021 godu*. – Obninsk: FICz EGS RAN, 2023. S. 17–24.
3. Sayapina A.A., Bagaeva S.S., Gorozhancev S.V. Kratkaya istoriya sozdaniya i e'tapy razvitiya sejsmologicheskoy sluzhby v Respublike Severnaya Osetiya-Alaniya // *Vestnik VNCz RAN*. 2019. T. 19. № 2. S. 56–65.
4. North Osetia Branch of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences. (1993). North Osetia Regional Seismic Network of the Russian Federation [Data set]. International Federation of Digital Seismograph Networks. <https://doi.org/10.7914/kmx2-4r56>
5. Rogozhin E.A., Gabsatarova I.P., Pogoda E.V. Zony VOZ i sejsmichnost territorii Respubliki Severnaya Osetiya-Alaniya // *Zemletryaseniya Severnoj Evrazii. Materialy Mezhdunarodnoj konferencii, posvyashhennoj 10-letiyu vy'puska sbornika nauchnyx trudov «Zemletryaseniya Severnoj Evrazii»*, Obninsk, 28–31 iyulya 2008 g. – Obninsk: GS RAN, 2008. S. 243–249.
6. Sayapina A.A., Dmitrieva I.Yu., Bagaeva S.S., Grichuxa K.V., Gorozhancev S.V. Sejsmicheskaya aktivnost v rajone sela Majramadag Respubliki Severnaya Osetiya-Alaniya v 2019 godu // *Vestnik VNCz RAN*. 2019. T. 19. № 4. S. 60–64.
7. Peterson, J. Observations and modeling of seismic background noise. U.S. Geol. Survey Open-File Report 93-322. 1993. 95 p.
8. Sandvol E.A., Nabelek J.L., Mackey K.G., Malovichko A.A., Dyagilev R.A., Vinogradov Yu.A., et al. Uplift and seismic structure of the Greater Caucasus. Second stage of project // *Sovremennye metody obrabotki interpretacii sejsmologicheskix dannyx. Tezisy XIV Mezhdunarodnoj sejsmologicheskoy shkoly* / Otв. red. A.A. Malovichko. – Obninsk: FICEGSRAN, 2019. S. 3–7.
9. Akimov A.P., Pojgina S.G. Programmnyj kompleks WSGv 5.56x Rukovodstvo operatora po obrabotke seti stancij. – Obninsk, 2007.
10. Severo-Kavkazskij Federal'nyj Okrug, Respublika Severnaya Osetiya-Alaniya, geologicheskaya karta. Aktualizirovanny'e GIS-pakety operativnoj geologicheskoy informacii (GIS-Atlas «Nedra Rossii»): <http://atlaspacket.vsegei.ru/>