

УДК 550.34

НОВЫЕ ШИРОКОПОЛОСНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

© 2025 г. А. Г. Гоев^{1,*}, И. М. Алешин², Н. Л. Константиновская¹, Р. А. Резниченко¹,
Н. А. Юдочкин¹, М. Н. Дробышев²

¹Институт динамики геосфер им. академика М.А. Садовского РАН, г. Москва, Россия

²Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

*E-mail: goev@idg.ras.ru

Поступила в редакцию 23.03.2024 г.

После доработки 21.05.2024 г.

Принята к публикации 22.07.2024 г.

В работе представлены сведения о развитии сети широкополосных сейсмических станций в центральной части Восточно-Европейской платформы. Установлено три новые сейсмические станции — “Удомля” (UDO), “Борок” (BROK) и “Владимир” (VLD). Проанализированы их регистрационные возможности. Показано, что использование данных новых станций позволяет проводить успешную регистрацию и локацию как телесейсмических, так и локальных сейсмических событий различного генезиса. Расположение и качество данных новых пунктов регистрации в дальнейшем позволит охарактеризовать строение земной коры и верхней мантии мегаблоков Фенноскандия и Волго-Уралья вблизи зоны их коллизии.

Ключевые слова: сейсмическая сеть, Восточно-Европейская платформа, сейсмичность, взрыв, карьер.

DOI: 10.31857/S0002333725030143, **EDN:** FFYOPG

ВВЕДЕНИЕ

Изучение глубинного строения является важнейшей задачей для понимания процессов, происходивших в Земле на различных этапах ее развития. Традиционно наибольшее внимание уделяется исследованиям современных геодинамических процессов, т.к. они оказывают непосредственное влияние на жизнь людей, формируя землетрясения, а также другие катастрофические явления. Вместе с тем исследования платформенных областей, таких как Восточно-Европейская платформа (ВЕП), не менее важны для понимания эволюции нашей планеты [Yang et al., 2008; Mann, Abers, 2020; Thybo et al., 2021].

Центральная часть ВЕП является регионом с большой антропогенной нагрузкой и развитым промышленным производством. На этой территории действуют десятки карьеров по добыче

полезных ископаемых, таких как известняки, доломиты, железистые кварциты, гранит и т.д.; предприятий, ведущих добычу руд с использованием шахтных и массовых взрывов. В ряде случаев сейсмические сигналы от взрывных работ (с магнитудой более 3) принимают за землетрясения, они оказываются помещенными в сейсмологические бюллетени и каталоги природной сейсмичности, искажая тем самым информацию о реальной природной сейсмичности [Адушкин и др., 2013]. При этом в центральной части ВЕП регистрируются и тектонические события, магнитуда которых в некоторых случаях может превышать 3.5 [Адушкин и др., 2019]. Актуальной задачей является разработка новых и адаптация существующих критериев дискриминации сейсмических событий на ВЕП, что требует накопления как можно большего количества волновых форм и развития наблюдатель-

ной сети сейсмических станций [Zhu et al., 2024; Korrat et al., 2022].

В тектоническом смысле изучаемый объект представляет собой область сочленения (коллизии) трех разновозрастных мегаблоков (прото-кратонов): Фенноскандии, Волго-Уралии и Сарматии [Минц и др., 2010; Bogdanova et al., 2016]. При этом строение литосферы и подлитосферной мантии в данном районе изучено недостаточно подробно. В частности, большой интерес представляют характеристики слоя пониженных скоростей в верхней мантии (MLD), установленного ранее для этой территории [Гоев и др., 2018]. Детальные исследования MLD важны для понимания процессов эволюции и тектоники Земли и его изучение активно ведется на других кратонах мира [Fu et al., 2022; Sriparna et al., 2021; Wang, Kusky, 2019].

Еще одним важным вопросом является глубина залегания перехода кора–мантия. В работе [Костюченко и др., 2001] показана выраженная топография границы Мохо в центральной части ВЕП, глубина залегания которой меняется от значений в 40 км в районе Москвы и Твери до 48 км в районе Владимира. В другой известной работе [Юдахин и др., 2003] отмечено увеличение мощности коры для всей центральной части ВЕП до значений в 47.5 км. Такое несоответствие оценок объясняется малым количеством сейсмических профилей, обработанных на изучаемой территории, и, как следствие, значительного вклада интерполяции при получении площадных оценок.

Долгое время широкополосная сейсмическая сеть в центральной части ВЕП была представлена только тремя станциями Геофизической службы РАН (ЕГС РАН) — “Обнинск” (OBN), “Сторожевое” (VSR) и “Новохоперск” (VRN). Помимо них, на территории центральной части ВЕП работает уникальный измерительный комплекс ИДГ РАН “Михнево”, где с 1954 г. функционирует сейсмическая станция MHV и с 2004 г. — малоапертурная сейсмическая группа “Михнево” (MHVAR) [Кочарян и др., 2022]. MHVAR успешно регистрирует техногенные и редкие тектонические события, происходящие на территории ВЕП. Однако такая конфигурация сейсмических станций не позволяет эффективно решать задачи структурной сейсмологии и определять локальные кинематические и динамиче-

ские параметры изучаемой территории. Более того, как показано в работе [Гоев и др., 2021], совместная обработка данных MHVAR и даже одной дополнительной сейсмической станции в ряде случаев позволяет существенно повысить точность локации сейсмического события.

С 2017 г., с открытием трех новых широкополосных сейсмических станций (“Александровка”, ALX; “Шатура”, SHAT и “Воскресенск”, VOSK), началось создание сейсмической сети ИДГ РАН [Гоев и др., 2020]. Представленная работа отражает развитие этой сети в центральной части ВЕП и открытию, совместно с ИФЗ РАН, трех новых сейсмических станций — “Владимир” (VLD), “Борок” (BROK) и “Удомля” (UDO). Конфигурация современного состояния наблюдательной сети сейсмических станций в центральной части ВЕП, а также ее тектоническое строение приведены на рис. 1.

ХАРАКТЕРИСТИКИ НОВЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Сейсмическая станция “Борок” (BROK) открыта 24.11.2022 г. на территории геофизической обсерватории ИФЗ РАН “Борок”. Станция укомплектована широкополосным сейсмометром с частотным диапазоном 0.033–50 Гц (рис. 2а). Оборудование установлено в одном из специализированных отапливаемых павильонов на бетонном основании и на некотором удалении от источников техногенных помех.

Сейсмическая станция “Владимир” (VLD) открыта 06.02.2023 г. на полигоне Владимирского государственного университета (ВлГУ). Она укомплектована широкополосным сейсмометром с частотным диапазоном 0.008–50 Гц, установленном на специально оборудованном постаменте (рис. 2б). Необходимо отметить, что полигон ВлГУ расположен на значительном удалении от источников техногенных шумов, что делает возможным проводить работы по сопоставлению регистрационных возможностей различного сейсмологического оборудования.

Сейсмическая станция “Удомля” (UDO) открыта 24.03.2023 г. в Тверской области, установлена на постаменте и оснащена широкополосным датчиком с частотным диапазоном 0.008–50 Гц (рис. 2в).

Основные характеристики новых сейсмических станций приведены в табл. 1.

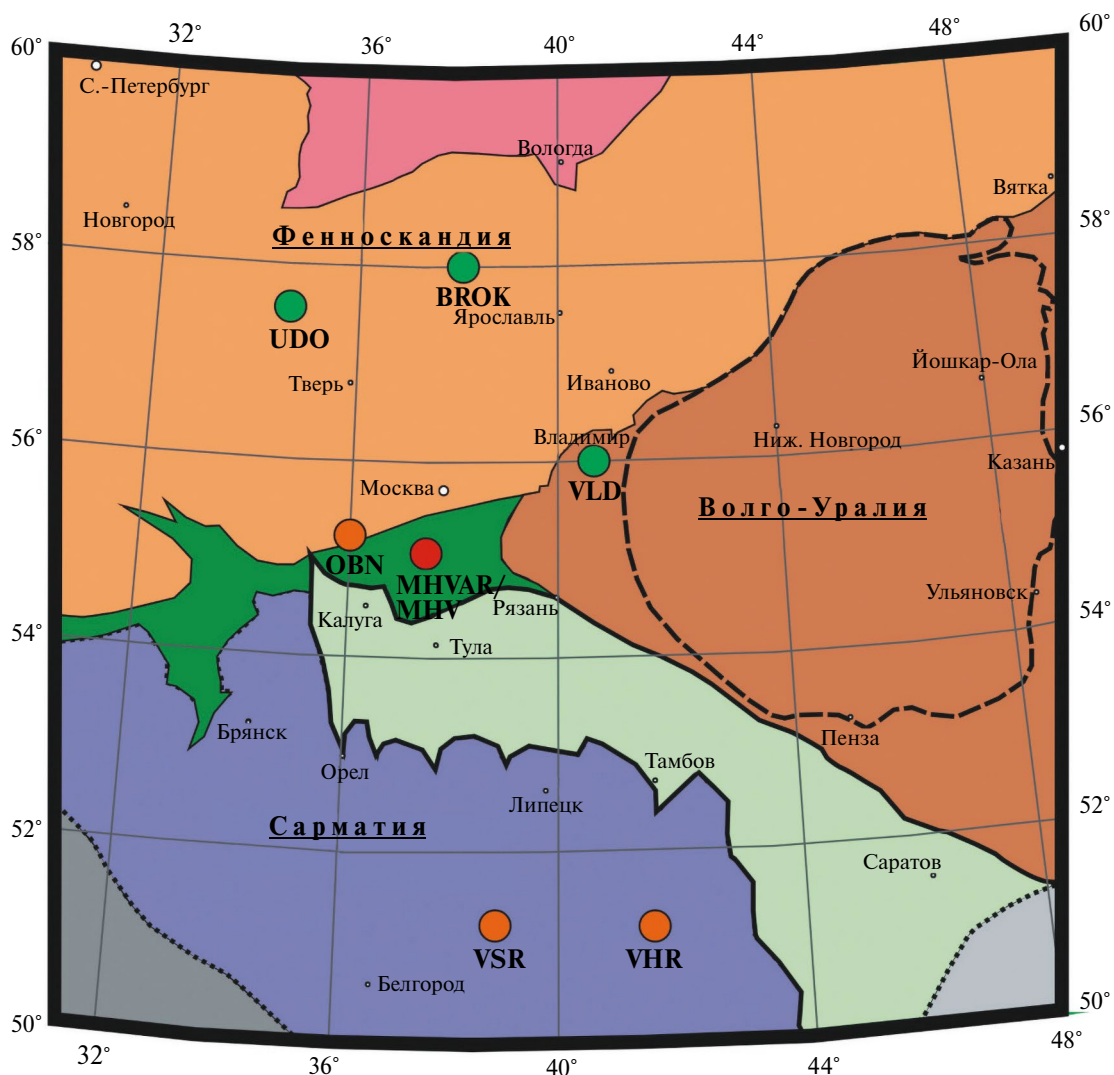


Рис. 1. Тектоническая схема (на основе [Минц и др., 2010; Bogdanova et al., 2016]). Зелеными кругами показаны новые сейсмические станции; красным — малоапертурная группа “Михнево” (MHVAR), совмещенная с широкополосной станцией (MHV); оранжевыми — широкополосные станции ФИЦ ЕГС РАН.

Для анализа уровня микросейсмического фона была рассчитана спектральная плотность мощности шума для каждой из трех компонент и проведено ее сравнение с модельными кривыми минимального и максимального значения этого параметра, оцененными по данным мировой сети [McNamara, Buland, 2004; Peterson, 1993] (рис. 3). Обращает на себя внимание то, что во всей анализируемой полосе частот данные станций VLD и UDO удовлетворяют установленным пределам. Микросейсмический фон несколько превышает целевые показатели по данным станции BROK на частотах более 1 Гц, что затрудняет выделение сигналов локальных сейсмических событий на этой стан-

ции. На больших периодах микросейсмический фон лежит в допустимых пределах. Наиболее вероятной причиной высоких значений микросейсмического фона в высокочастотной области на станции BROK является близость (менее 1 км) реки Волга к месту установки сейсмической станции. При этом с учетом того, что одной из основных целей создания широкополосной сети является исследование глубинного строения центральной части ВЕП, которое будет проводиться преимущественно в длиннопериодной области, поддержание функционирования этой станции представляется оправданным.

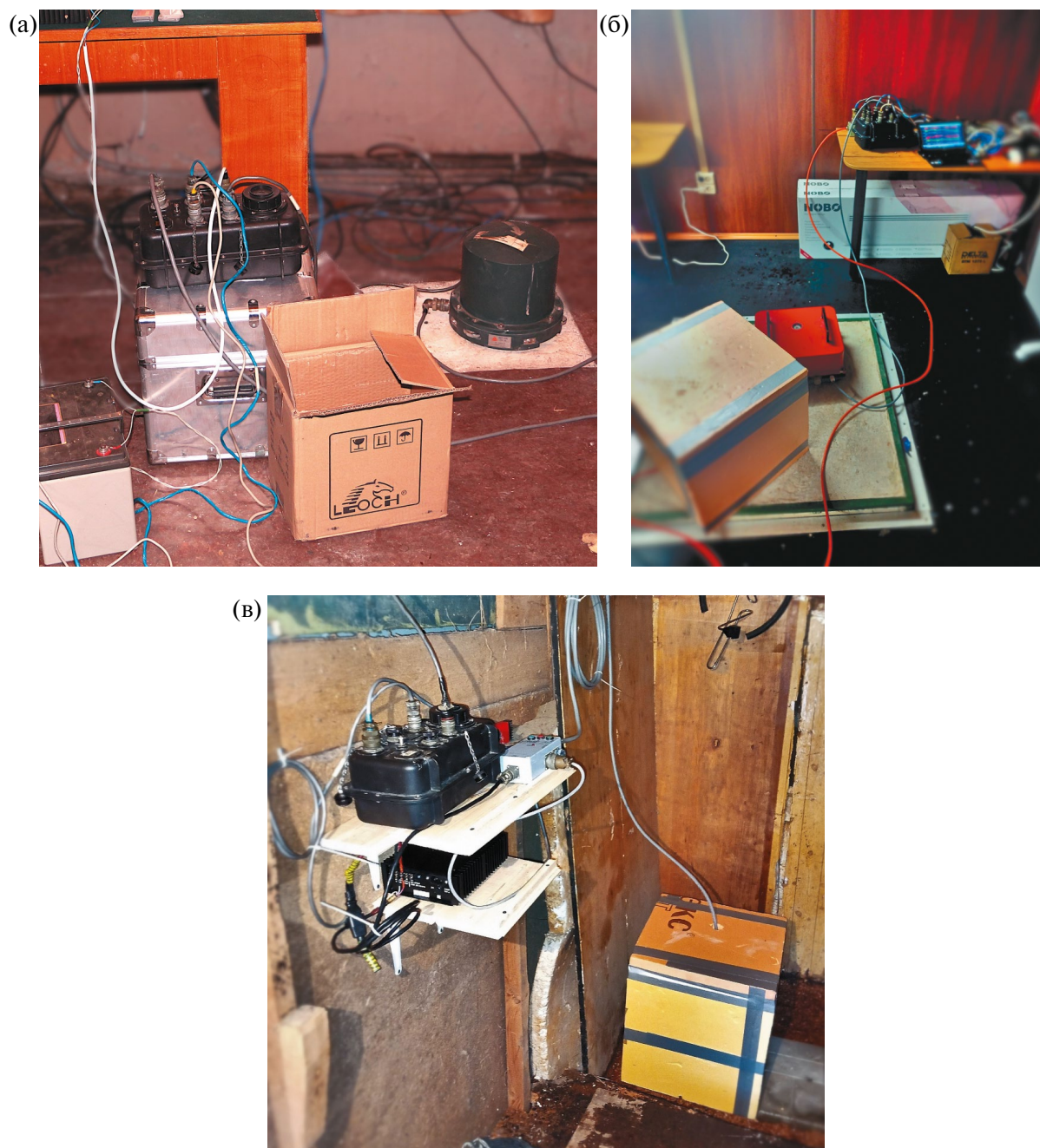


Рис. 2. Фотографии новых сейсмических станций “Борок” (а), “Владимир” (б) и “Удомля” (в)

Таблица 1. Основные характеристики новых сейсмических станций в центральной части Восточно-Европейской платформы

Название станции	Код станции	Широта (°)	Долгота (°)	Частотный диапазон (Гц)	Дата открытия
Борок	BROK	58.07	38.23	0.033-50	24.11.2022
Владимир	VLD	56.18	40.86	0.008-50	06.02.2023
Удомля	UDO	57.80	34.90	0.008-50	24.03.2023

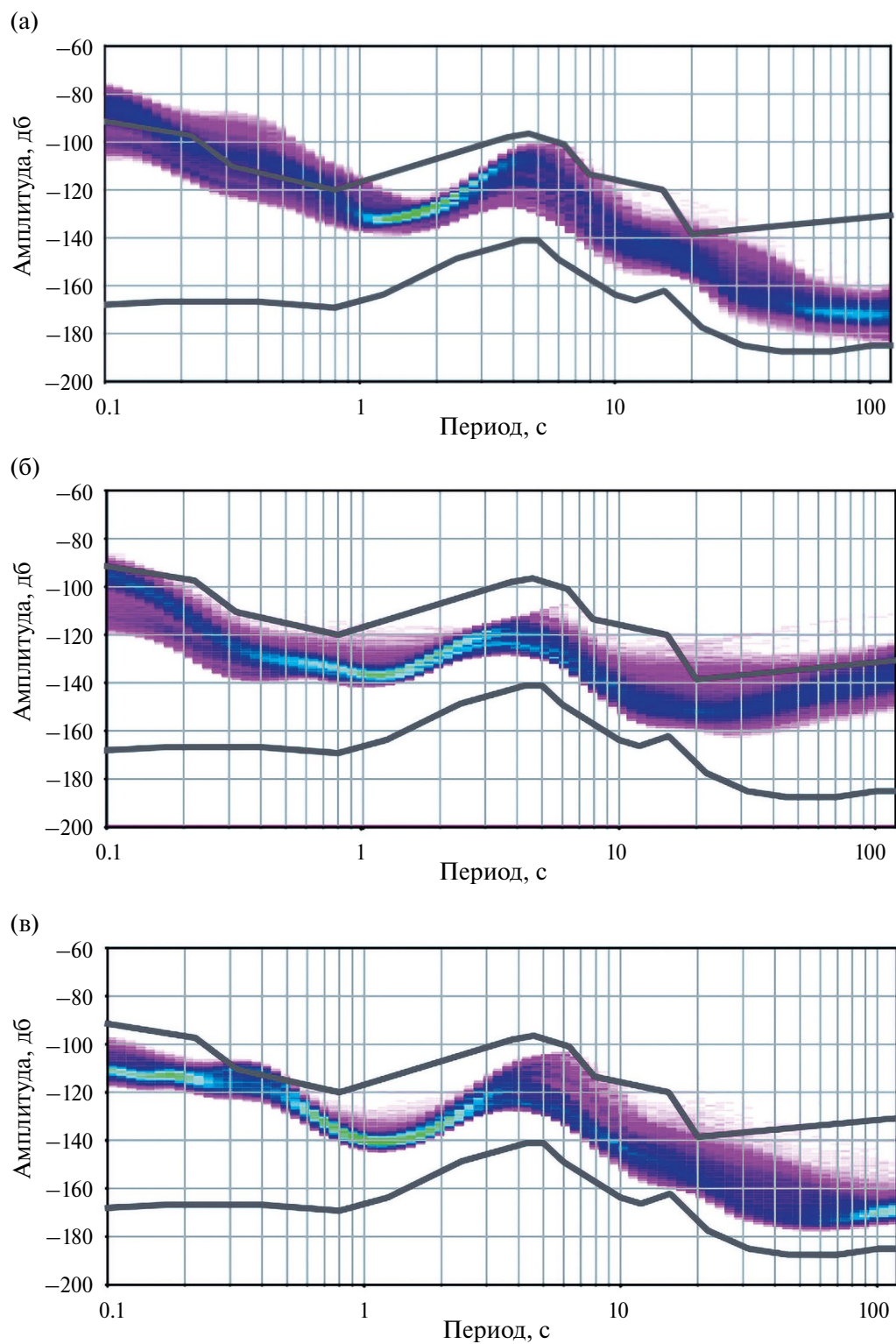


Рис. 3. Графики плотности вероятности спектральной плотности мощности сейсмического шума новых станций, построенные по работе [McNamara, Buland, 2004] в сопоставлении с модельными кривыми максимально и минимально допустимых значений, полученных по данным мировой сети (серые кривые сверху и снизу на каждом из графиков соответственно) [Peterson, 1993]: (а) — BROK; (б) — VLD; (в) — UDO.

РЕГИСТРАЦИЯ ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

Одной из задач, стоящих перед новой сейсмической сетью, является регистрация телесейсмических событий. По результатам наблюдений отмечено, что все станции уверенно регистрируют телесейсмические события на существенных эпи-

центральных расстояниях (до 90°) с магнитудами от 5. Обработка сейсмических данных, а также локация событий проводится с использованием программных комплексов ELWIN [Асминг и др., 2022] и LOS [Асминг и др., 2021], предоставленных Кольским филиалом ФИЦ ЕГС РАН.

В качестве примера на рис. 4 представлены записи землетрясений в Индонезии 24.04.2023 г.

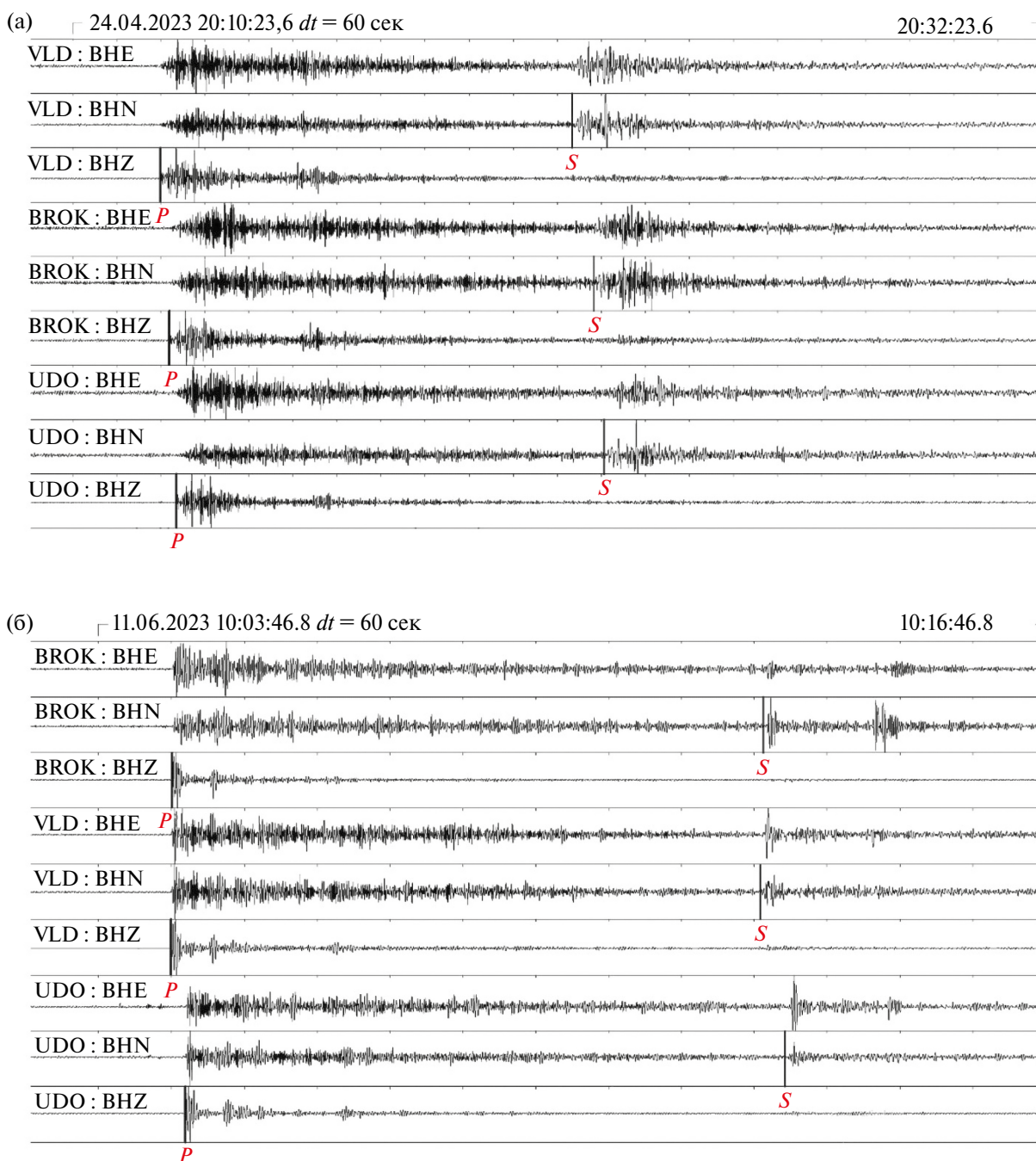


Рис. 4. Волновые формы телесейсмических событий, записанные новыми сейсмическими станциями по трем компонентам: (а) — землетрясение в Индонезии 24.04.2023 г., M_s 6.5; (б) — землетрясение в районе Хоккайдо 11.06.2023 г., M_s 5.7. Приведены пикировки вступлений волн P и S для каждой станции.

и Хоккайдо 11.06.2023 г. Как видно из сейсмограмм, записи событий четкие как на вертикальных, так и на горизонтальных компонентах. Определенные времена прихода *P*-волн на новых сейсмических станциях приведены в табл. 2, магнитуды и времена в очаге (здесь и далее) указаны по данным ССД ФИЦ ЕГС РАН [Информация службы... (дата обращения 03.07.2023)].

Используя данные новых сейсмических станций, также возможно эффективно лоцировать региональные события. На рис. 5 представлены результаты регистрации и локаций землетрясения, произошедшего в Западном Казахстане 25.04.2023 г., по трем станциям (см. табл. 3). Полученные координаты эпицентров и времен в очаге согласуются с данным ССД ФИЦ ЕГС РАН [Информация службы... (дата обращения 10.07.2023)].

РЕГИСТРАЦИЯ СЛАБЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ НА ВЕП

Помимо сеймотектонических исследований и регистрации телесейсмических землетрясений, перед новыми станциями также стоят задачи обнаружения, локации и дискриминации событий различного генезиса в центральной части ВЕП. Контроль за сейсмичностью на ВЕП, начиная с 2004 г., успешно осуществлялся малоапертурной сейсмической группой (МСГ) “Михнево”, которая ведет постоянный мониторинг сейсмических сигналов [Санина и др., 2019]. По результатам многолетних исследований были получены данные о расположении и времени проведения взрывных работ на большом количестве промышленных карьеров (более 30), находящихся на удалении до 500 км от МСГ “Мих-

Таблица 2. Времена прихода *P*-волн от сейсмических событий на новых станциях. Магнитуды приведены по данным ССД ФИЦ ЕГС РАН [Информация службы... (дата обращения 03.07.2023 г.)]

Дата:	Регион:	T0	Tr (VLD)	Tr (BROK)	Tr (UDO)	<i>mb</i>
24.04.2023	Индонезия	20:00:55.0	20:12:23.0	20:12:35.0	20:12:44.0	6.5
11.06.2023	Хоккайдо	09:54:45.0	10:04:47.0	10:04:50.0	10:04:57.0	6.3

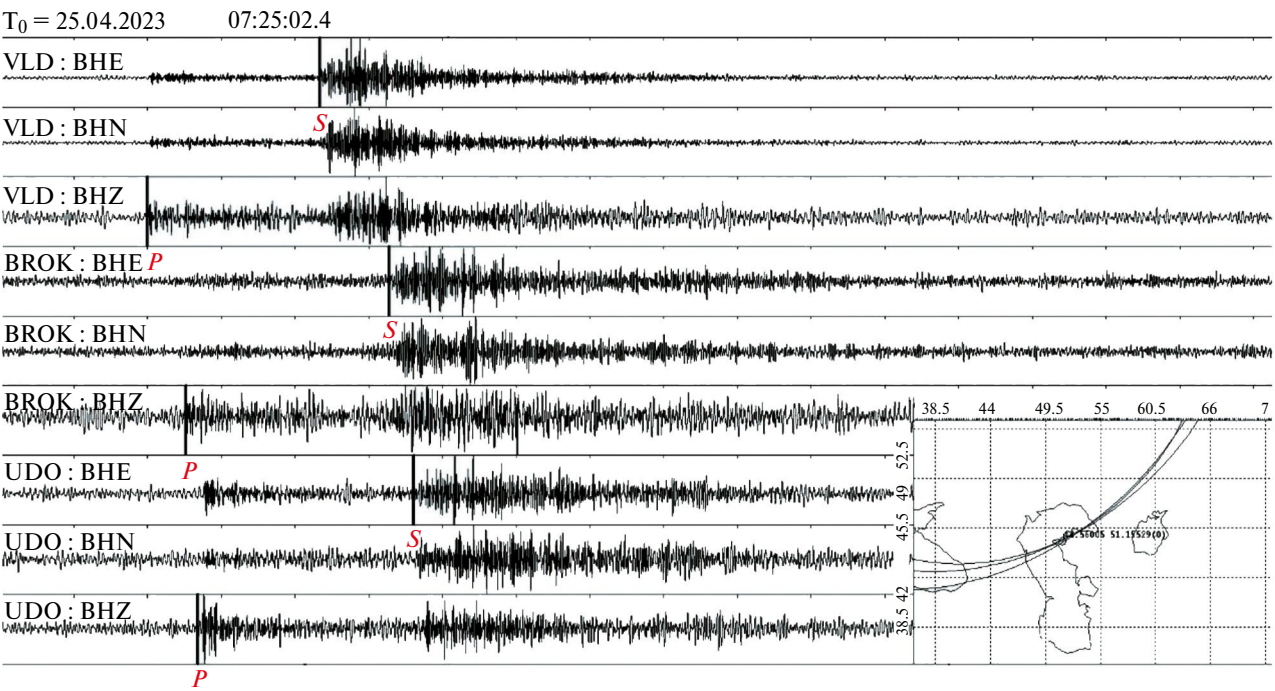


Рис. 5. Волновые формы события, произошедшего в районе Западного Казахстана 24.04.2023 г. Показаны вступления волн *P* и *S*; на врезке в правом нижнем углу — результат локации.

Таблица 3. Результаты локации события, произошедшего в районе Западного Казахстана, по данным новых станций

Дата	Регион	ФИЦ ЕГС РАН				Результат локации		
		T0	шир., град	долг., шрад	<i>mb</i>	T0	шир., град	долг., град
25.04.2023	Зап. Казахстан	07:25:02.0	45.03	52.36	4.5	07:25:03.6	44.6	51.12

нево". Создана база данных типичных волновых форм для большинства карьеров [Санина и др., 2020], которая в настоящее время используется для уточнения координат регистрируемых событий. На рис. 6 представлена карта расположения зарегистрированных МСГ "Михнево" техногенных, а также редких природных сейсмических событий на изучаемой территории. Видно, что сейсмичность носит преимущественно техногенный характер, однако присутствуют также и редкие природные события. Наличие последних в центральной части ВЕП носит принципиальный характер, т.к. может служить маркером протекающих в настоящий момент тектонических процессов.

Как хорошо видно на рис. 6, большинство тектонических событий сосредоточено на окраине центральной части ВЕП преимущественно в Днепровско-Донецком авлакогене (ДДА). Причем многие из них регистрируются не только МСГ "Михнево" и станциями ФИЦ ЕГС РАН, но и станциями международных сетей на территории ВЕП [Санина и др., 2020]. Многолетние наблюдения на МСГ "Михнево" показывают, что на данной территории также изредка происходят слабые тектонические события, не приуроченные к ДДА (см. табл. 4). При этом практически всегда они регистрируются только МСГ "Михнево" ввиду отсутствия до недавнего времени других сейсмических станций в центральной части ВЕП. Как видно из табл. 4, тектонические события в данном районе редки, однако их изучение чрезвычайно важно ввиду густой населенности территории и наличия на ней большого числа особо ответственных объектов. Таким образом, новые сейсмические станции существенно повысят надежность выявления таких событий, а в случае технических сбоев, эпизодически происходящих на МСГ "Михнево", их данные могут являться единственным источником информации о таких событиях.

Например, на рис. 7 впервые приведены сейсмограммы события, произошедшего 13.09.2013 г. в Тверской области, в пределах Валдайского авлакогена. Событие зарегистрировано только группой "Михнево" ввиду отсутствия в том районе других сейсмических станций. При этом точность и надежность локации и дискриминации этого, как и любого другого события, была бы существенно выше при его наблюдении на большем числе станций. Поскольку редкие тектонические события вызывают наибольший интерес для исследований, сеть новых станций, несомненно, будет играть значимую роль в изучении центральной части ВЕП. Необходимо также отметить, что эпизодически, по техническим причинам, те или иные датчики группы "Михнево" работают некорректно, а иногда имеются данные только центрального широкополосного прибора. В этом случае только совместная обработка данных сети станций позволит осуществить локацию возможного события.

ТЕХНОГЕННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ

Техногенная сейсмичность на изучаемой территории сосредоточена в юго-восточной части региона (см. рис. 6). Для ее изучения из трех новых сейсмических станций, наибольшее значение имеют записи станции VLD, поскольку BROK и UDO находятся на существенном удалении от известных карьеров. Во Владимирской, Тульской и других областях в восточном и южном направлении от станции VLD сосредоточены группы промышленных предприятий по добыче известняка, доломитов и гравийно-щебеночного материала. При этом с учетом близости многих карьеров друг к другу разделение эпицентров произошедших на них взрывов по данным только одной МСГ "Михнево" представляет существенную сложность.

На рис. 8 видно, что первое вступление волны *P*, записанное на центральном приборе

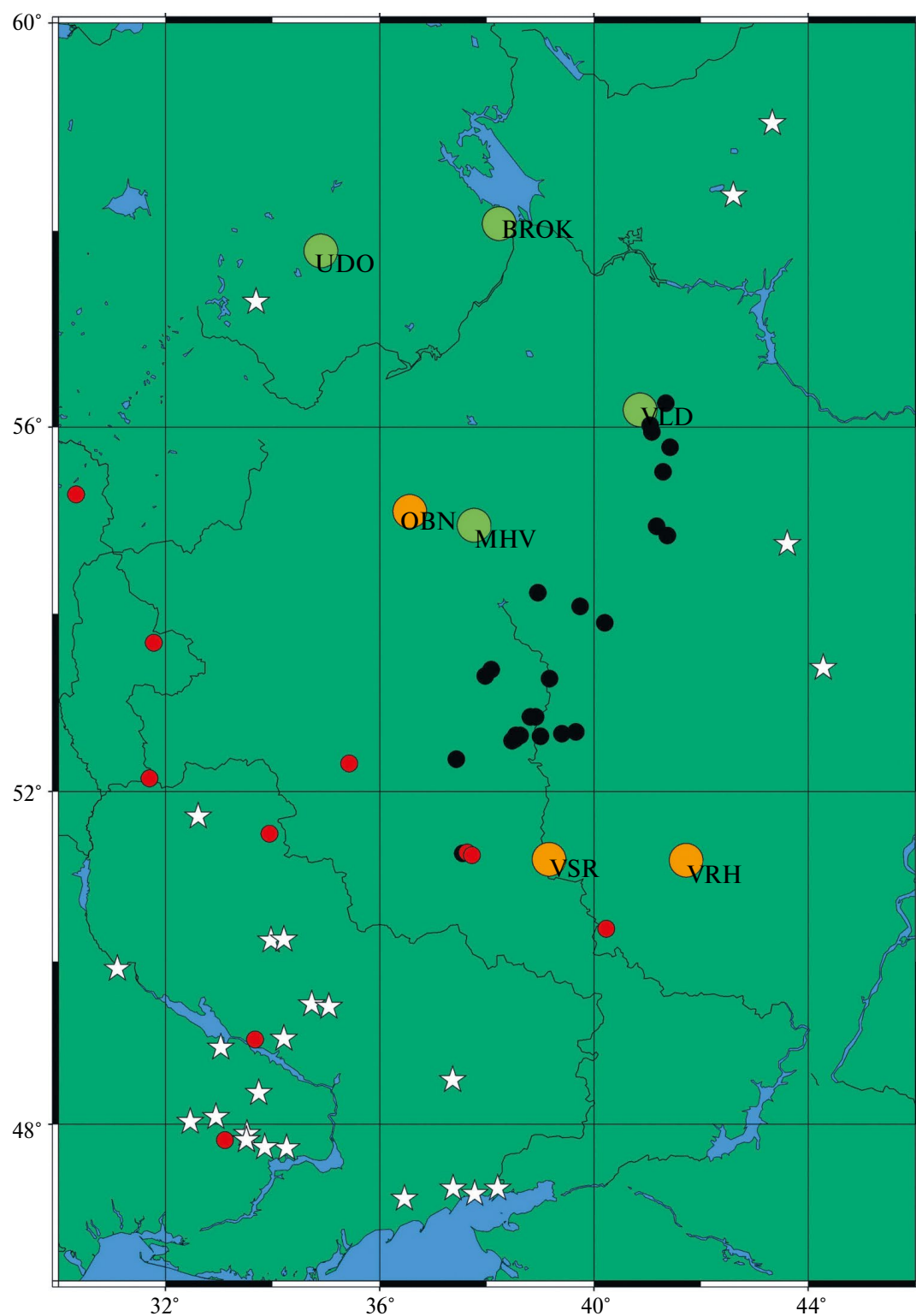


Рис. 6. Карта региона исследования. Зелеными кругами показаны новые сейсмические станции и положение станции “Михнево” (MHV); оранжевыми — широкополосные станции ФИЦ ЕГС РАН; белыми звездами — эпицентры зарегистрированных тектонических и техногенно-тектонических [Адушкин и др., 2016] событий; черными точками — карьерные взрывы с $ML > 2.2$; красными — карьерные взрывы с $ML > 3.0$; все эпицентры приведены по данным МСГ “Михнево” с 2004 г.

Таблица 4. Некоторые тектонические события в центральной части ВЕП, зарегистрированные МСГ “Михнево”

Дата:	T0	R, км	Природа:	Регион:	шир., град	долг., град	ML
13.09.2013	11:21:42.0	361	з/трясение	Тверская обл.	57.29	33.69	2.9
03.07.2015	17:05:33.0	643	з/трясение	Нижегородская обл.	57.91	46.73	3.4
05.07.2015	06:11:23.0	685	з/трясение	Кировская обл.	58.43	47.06	3.2
23.06.2016	01:30:33.0	561	з/трясение	Костромская обл.	59.26	42.21	3.0
09.04.2019	16:49:50.9	509	з/трясение	Нижегородская обл.	55.37	45.76	2.7

T₀ = 13.09.2013 11:21:44.8

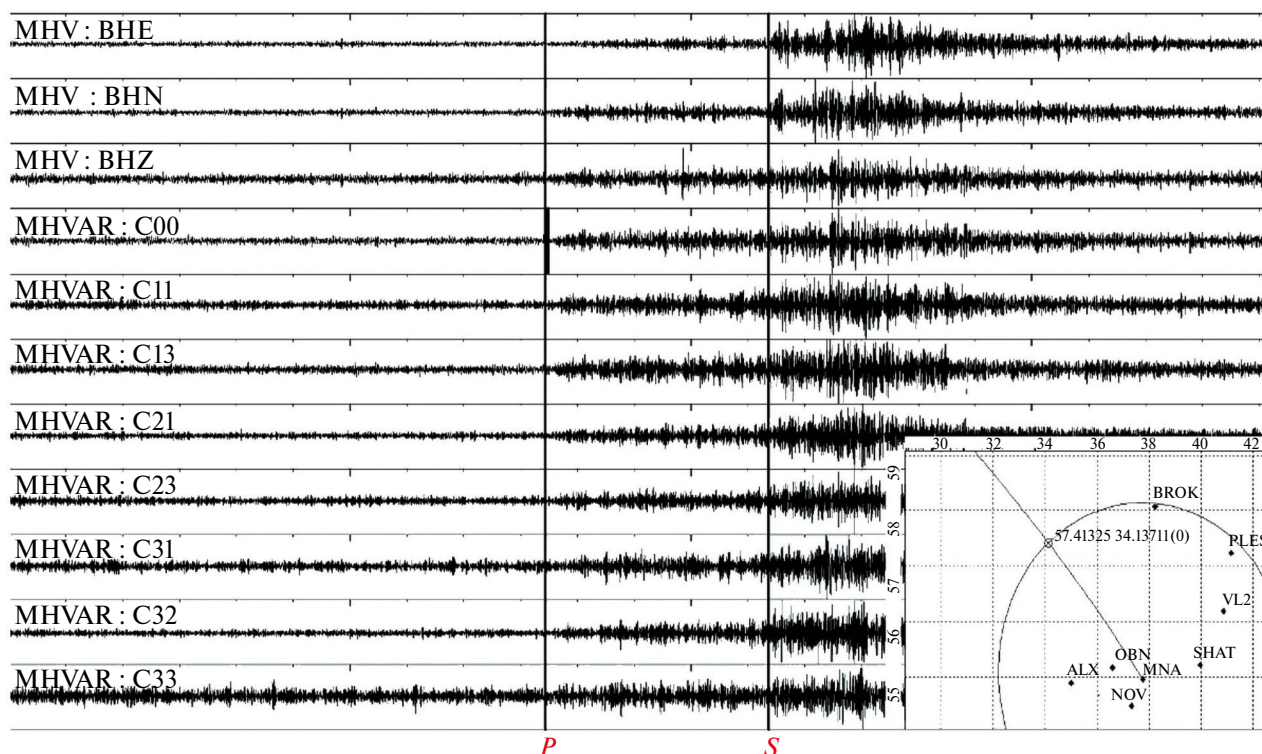


Рис. 7. Запись волновых форм события в Тверской области 13.09.2013 г. (табл. 3). Показаны вступления волн *P* и *S*, на врезке в правом нижнем углу показан результат локаций по группе “Михнево” (каналы MHVAR) и центральному широкополосному датчику (каналы MHV).

группы “Михнево”, визуально практически невозможно распознать, т.к. отношение сигнал/шум меньше 3. Несмотря на известный “волновой портрет”, время в очаге и проведенный поляризационный анализ, нельзя с уверенностью идентифицировать исследуемое событие только по одной станции. В результате совместной локации событие определено как взрыв на карьере “Добрятинский” Владимирской области. Эпицентр расположен недалеко от станции VLD, примерно в 78 км (55.52° с.ш., 41.31° в.д.)

Также существует сложность при идентификации карьера по одному центральному прибору группы “Михнево” в случае, когда расстояния до эпицентров примерно одинаковы, но карьеры располагаются в разных областях. Это связано с тем, что по данным одиночной станции расстояние до источника определяется существенно надежнее, чем азимут. Такая особенность, например, существует по отношению к группам карьеров Липецкой области (район г. Елец) и Владимирской области (район г. Ков-

ров). Эпицентральные расстояния относительно центрального прибора “Михнево” составляют порядка 250–260 км, однако азимутальные положения совершенно разные. Типичный пример такой ситуации приведен на рис. 9. В данном

случае, без привлечения данных дополнительной станции VLD и используя только данные центрального прибора МСГ “Михнево”, существует значительная вероятность ошибочного определения эпицентра, которая полностью

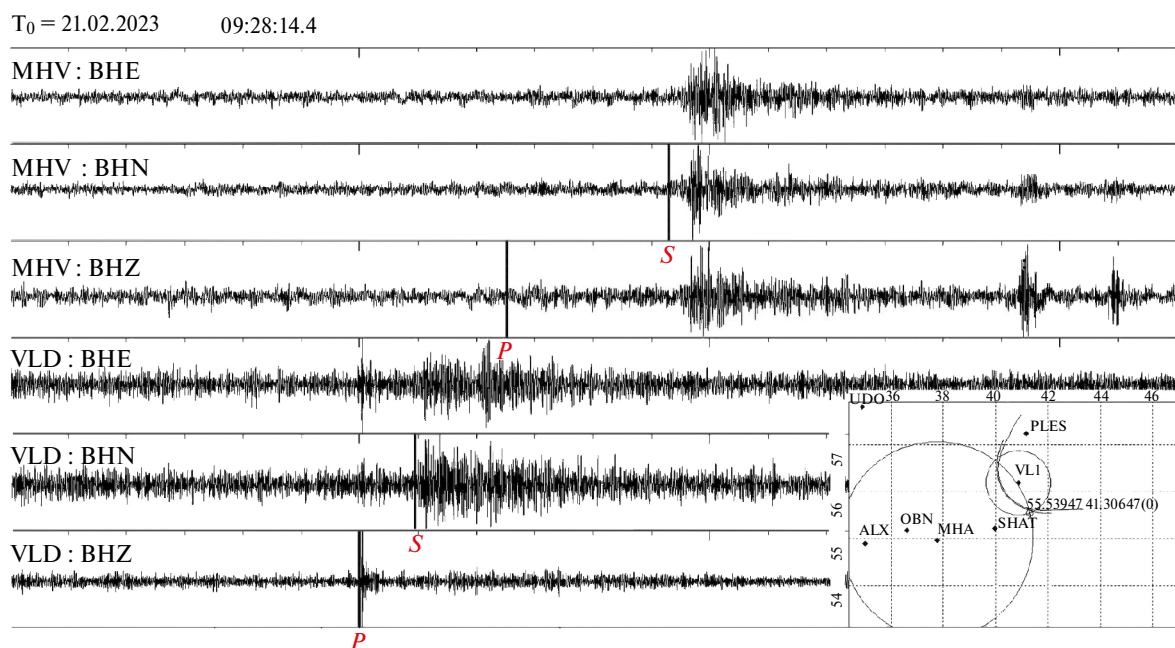


Рис. 8. Пример совместной локации взрыва на карьере “Добрятинский” 21.02.2023г. ($T_0 = 09:28:14.0$; $M_L = 2.0$). Показаны вступления волн P и S . Расстояния от эпицентра составили 233 и 78 км соответственно. На врезке в правом нижнем углу показан результат локации по двум станциям.

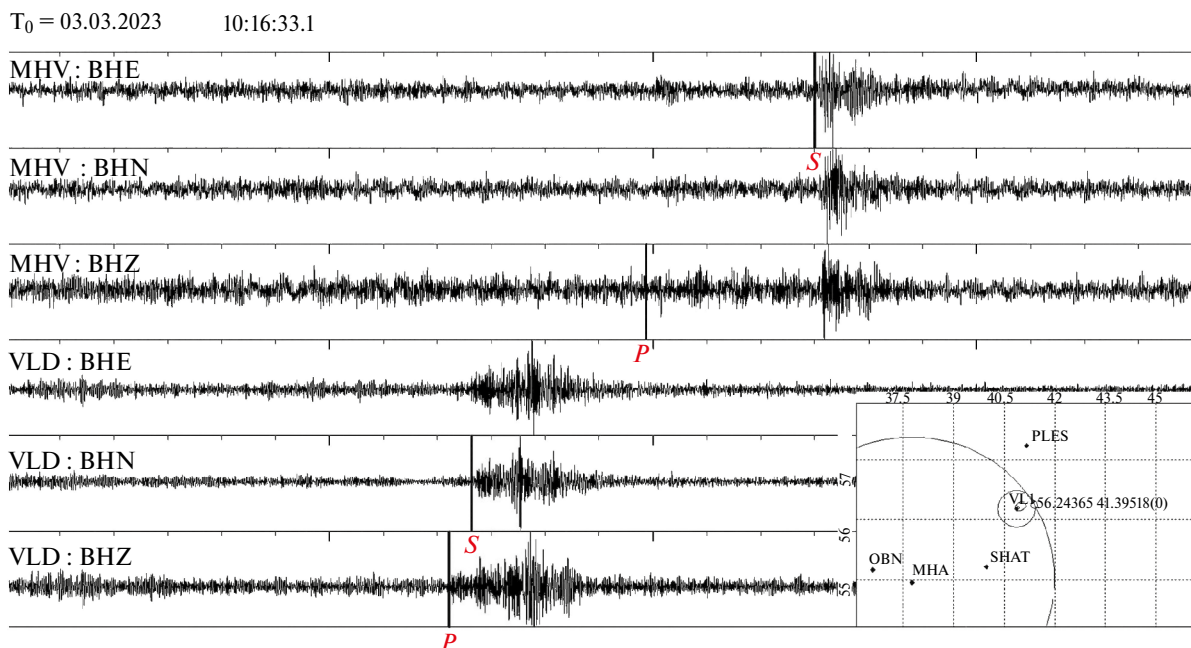


Рис. 9. Волновые формы взрыва, записанные станцией “Владимир” (VLD) и центральным прибором МСГ “Михнево” (MHV), на одном из карьеров Ковровского карьероуправления 03.03.2023 г. ($T = 10:16:33.1$; $M_L = 2.3$). Расстояния от эпицентра составили 268 и 33 км соответственно; результат локации на врезке в нижнем правом углу. Показаны вступления волн P и S .

$T_0 = 29.03.2023$ 10:00:34.2

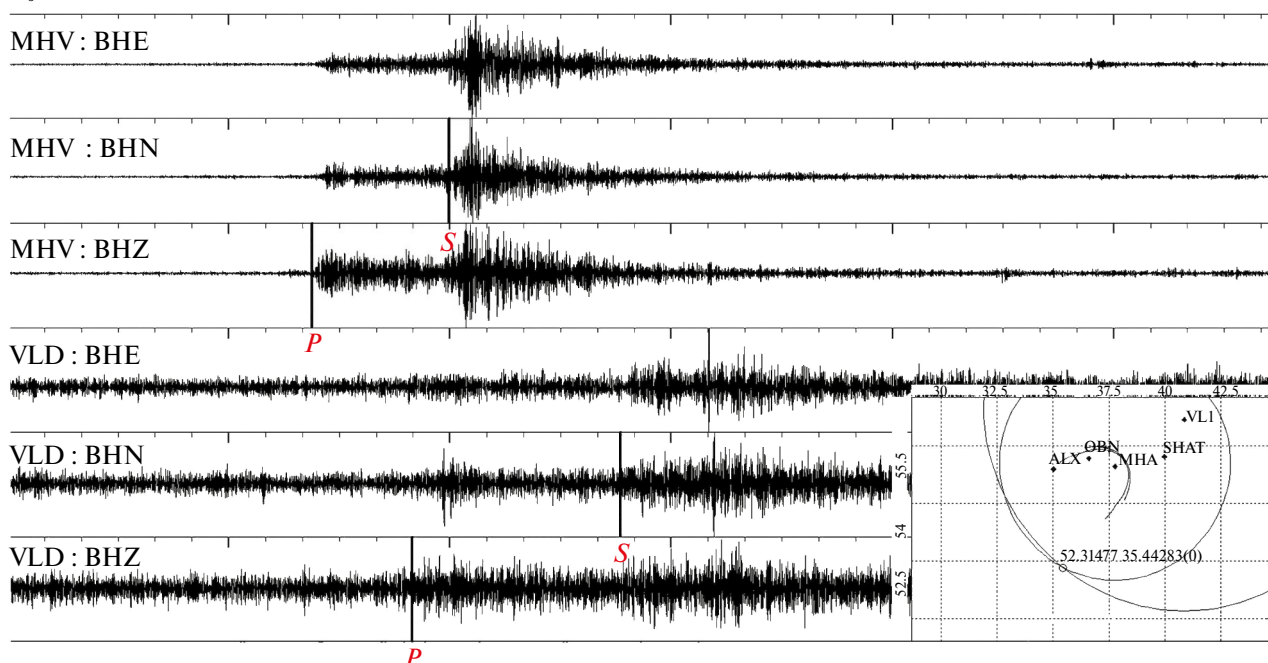


Рис. 10. Волновые формы взрыва, записанные станцией “Владимир” (VLD) и центральным прибором МСГ “Михнево” (MHV), на карьере Михайловского ГОКа 29.03.2023 г. ($T_0 = 10:16:33.1$; $ML = 3.3$) Расстояния от эпицентра составили 329 и 553 км соответственно; результат локации на врезке в нижнем правом углу. Показаны вступления волн P и S .

$T_0 = 07.07.2023$ 08:48:22.7

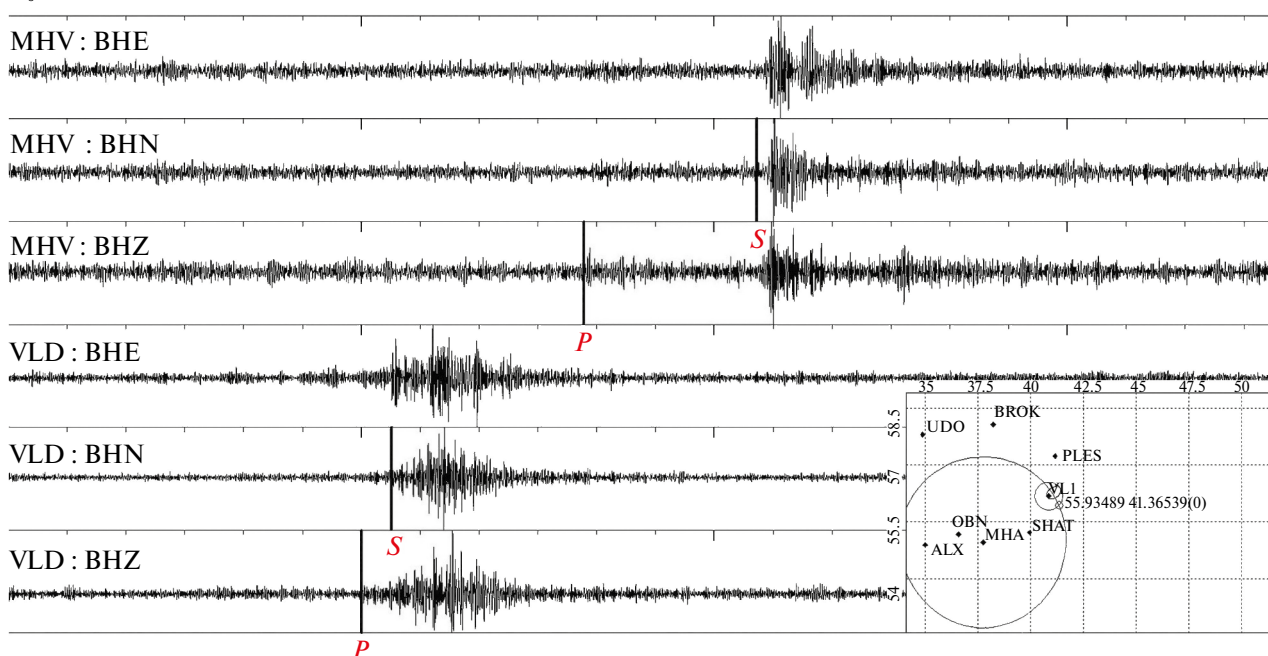


Рис. 11. Волновые формы взрыва, записанные станцией “Владимир” и центральным прибором МСГ “Михнево”, на карьере “Митино” Владимирской обл., 07.07.2023 г. ($T_0 = 08:48:22.7$; $ML = 2.5$). Расстояния от эпицентра составили 251 и 41 км соответственно; результат локации на врезке в нижнем правом углу. Показаны вступления волн P и S .

устраняется в случае совместного использования данных дополнительной станции.

В качестве еще одного примера регистрационных возможностей станции VLD на рис. 10 приведен пример локации взрыва на карьере Михайловского ГОКа 29.03.2023 г. совместно с группой “Михнево”. Запись сильно зашумлена, тем не менее станция VLD может регистрировать события техногенной природы даже на достаточно большом эпицентральных расстоянии (около 550 км), тем самым уточняя положение эпицентра.

Как уже отмечалось выше, в течение многолетних наблюдений на МСГ “Михнево” был создан банк “волновых портретов” (типичных волновых форм от взрывов на тех или иных карьерах). В последнее время, в связи с достаточно частыми техническими проблемами, а также с возможными изменениями применяемых технологий подрыва, с целью уменьшения сейсмического эффекта на окружающую среду, возникают сложности в идентификации таких событий. В качестве примера на рис. 11 приведена запись взрыва на карьере “Митино” Владимирской области 07.07.2023 г. До начала работы станции VLD часто эпицентр данного карьера мог быть неверно определен и отнесен к взрыву на карьере “Добрятинский”.

Всего за полгода наблюдений станцией VLD было зарегистрировано 54 карьерных взрыва на различных эпицентральных расстояниях в Московской, Тульской, Владимирской и Курской областях. В ряде случаев данные станции явились необходимым условием для корректной локации и дискриминации техногенных событий на ВЕП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В работе приведены характеристики и регистрационные возможности трех новых широкополосных сейсмических станций в центральной части Восточно-Европейской платформы. Проведенный анализ микросейсмического фона на новых станциях выявил допустимость использования данных во всех анализируемых частотах. Наиболее “тихой” является станция “Владимир” (VLD). Необходимо также отметить достаточно высокий микросейсмический фон по данным станции “Борок” (BROK) в высоко-частотной части спектра (более 1 Гц), что может

затруднять идентификацию слабых локальных событий.

Показано, что использование данных новых станций позволяет эффективно решать задачи локации и дискриминации локальных, а также региональных и телесейсмических событий. В ряде случаев использование новых данных позволяет уточнить оценки, полученные на МСГ “Михнево”, а иногда являются единственной возможностью осуществить регистрацию и идентификацию сейсмических событий различной природы.

В настоящий момент геометрия расстановки новой сейсмической сети явно не равномерна и охватывает преимущественно коллизионную зону, а также северное и южное направления (рис. 1). В ближайшее время будут открыты дополнительные станции на востоке и юго-западе изучаемой территории, а также в Костромской области. Такое расположение новых станций позволит охарактеризовать глубинное строение земной коры и верхней мантии мегаблоков Фенноскандия и Волго-Уралья в районе коллизии. Совместный анализ сейсмических данных МСГ “Михнево”, новых сейсмических станций, а также станций ФИЦ ЕГС РАН позволит создать структурную модель центральной части Восточно-Европейской платформы.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена с использованием данных УНУ “Среднеширотный комплекс геофизических наблюдений “Михнево” и “Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира” в рамках государственных заданий ИДГ РАН (№ 125012200561-3) и ИФЗ РАН (№ 075-00272-25-00).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Адушкин В.В. Сейсмичность взрывных работ на территории Европейской части России // Физика Земли. 2013. № 2. С. 110–130
- Адушкин В.В., Санина И.А., Габсатарова И.П., Иванченко Г.Н., Горбунова Э.М. Техногенно-тектонические землетрясения Днепровско-Донецкого авлакогена // Докл. РАН. 2016. Т. 469. № 4. С. 479–482.
- Адушкин В.В., Санина И.А., Иванченко Г.Н., Горбунова Э.М., Габсатарова И.П., Константиновская Н.Л., Нестеркина М.А. Сейсмогенные древние структуры центра

и севера Восточно-Европейской платформы // Докл. РАН. 2019. Т. 489. № 4. С. 405–408. DOI: 10.31857/S0869-56524894405-408

Асминг В.Э., Федоров А.В., Виноградов Ю.А., Прокудина А.В. Программные продукты для интерактивной и автоматической обработки сейсмических и инфразвуковых данных // Сейсмические приборы. 2022. Т. 58. № 4. С. 19–40. DOI: 10.21455/si2022.4-2

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. DOI: 10.35540/2686-7907.2021.1.02

Гоев А.Г., Волосов С.Г., Санина И.А., Константиновская Н.Л., Нестеркина М.А. Регистрационные возможности временной сейсмологической сети ИДГ РАН на ВЕП // Российский сейсмологический журнал. 2020. Т. 2. № 2. С. 84–90. DOI: 10.35540/2686-7907.2020.2.08

Гоев А.Г., Косарев Г.Л., Ризниченко О.Ю., Санина И.А. Скоростная модель западной части Волго-Уралии методом функции приемника // Физика Земли. 2018. № 6. С. 154–169.

Гоев А.Г., Санина И.А., Константиновская Н.Л., Овчинникова О.В. Возможности изучения слабой сейсмичности в центральной части Восточно-Европейской платформы с помощью новой широкополосной сейсмической станции “Александровка” // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2021. № 6. С. 142–149.

Информация Службы срочных донесений. ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. — URL: <http://www.gsras.ru/new/ssd.htm> (дата обращения 03.07.2023).

Информация Службы срочных донесений. ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. — URL: <http://www.gsras.ru/new/ssd.htm> (дата обращения 10.07.2023).

Костюченко С.Л., Солодилов Л.Н. и др. Отчет “Составление структурно-геодинамической карты территории Восточно-Европейской платформы для целей минералогического прогноза”. М.: Центр ГЕОН. 2001. 136 с.

Кочарян Г.Г., Локтев Д.Н., Ряховский И.А., Санина И.А. Уникальная научная установка “Среднеширотный комплекс геофизических наблюдений “Михнево” // Геодинамика и тектонофизика. 2022. Т. 13. № 2. DOI: 10.5800/GT-2022-13-2-0590

Миц М.В., Сулейманов А.К., Бабаянц П.С., Белоусова Е.А., Блох Ю.И., Богина М.М., Буш В.А., Докукина К.А., Заможня Н.Г., Злобин В.Л., Каулина Т.В., Конилов А.Н., Михайлов В.О., Натапов Л.М., Пийп В.Б., Ступак В.М., Тихоцкий С.А., Трусов А.А., Филиппова И.Б., Шур Д.Ю. Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы: Интерпретация материалов по опорному профилю 1-ЕВ, профилям 4В и ТАТСЕЙС: В 2 т. + 1 папка-комплект цветных приложений. М.: Геокарт. ГЕОС. 2010. Т. 1. 408 с. Т. 2. 400 с.

Санина И.А., Нестеркина М.А., Константиновская Н.Л., Габсатарова И.П. Распознавание природы сейсмических источников на Восточно-Европейской платформе, регистрируемых малоапертурной сейсмической груп-

пой “Михнево” на региональных расстояниях // Сейсмические приборы. 2020. Т. 56. № 2. С. 56–76. DOI: 10.21455/si2020.2-5

Юдахин Ф.Н., Шукин Ю.К., Макаров В.И. Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург: УрО РАН. 2003. 300 с.

Bogdanova S.V., Gorbatshev R., Garetsky R.G. Europe/East European Craton. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier. 2016. P. 1–18.

Fu H.Y., Li Z.H., Chen L. Continental mid-lithosphere discontinuity: A water collector during craton evolution // Geophysical Research Letters. 2020. V. 49. e2022GL101569 DOI: 10.1029/2022GL101569

Fu H.Y., Li Z.H., Chen L. Continental mid-lithosphere discontinuity: A water collector during craton evolution // Geophysical Research Letters. 2022. V. 49. e2022GL101569. DOI: 10.1029/2022GL101569

Korrat I.M., Lethy A., ElGaby M.N., Hussein H.M., Othman A.S. Discrimination Between Small Earthquakes and Quarry Blasts in Egypt Using Spectral Source Characteristics // Pure Appl. Geophys. 2022. V. 179. P. 599–618 DOI: 10.1007/s00024-022-02953-w

Mann M.E., Abers G.A. First-order mantle subduction zone structure effects on ground motion: the 2016 Mw 7.1 Iniskin and 2018 Mw 7.1 Anchorage earthquakes // Seismological Research Letters. 2020. V. 91. P. 85–93. DOI: 10.1785/0220190197

McNamara D.E., Buland R.P. Ambient Noise Levels in the Continental United States USGS // Bulletin of the Seismological Society of America. 2004. V. 94. № 4. P. 1517–1527. DOI: 10.1785/012003001

Peterson J. Observation and modeling of seismic background noise. U.S. Department of Interior, Geological Survey. Open-File Report 93-322. 1993. 91 p. DOI: 10.3133/ofr93322

Saha S., Peng Y., Dasgupta R., Mookherjee M., Fischer K.M. Assessing the presence of volatile-bearing mineral phases in the cratonic mantle as a possible cause of mid-lithospheric discontinuities // Earth and Planetary Science Letters. 2021. V. 553. 116602. DOI: 10.1016/j.epsl.2020.116602

Thybo H., Bulut N., Grund M., Mauerberger A., Makushkina A., Artemieva I., Balling N., Gudmundsson O., Maupin V., Ottemöller L., Ritter J., Tilmann F. ScanArray—A Broadband Seismological Experiment in the Baltic Shield // Seismological Research Letters. 2021. V. 92. № 5. P. 2811–2823. DOI: 10.1785/0220210015

Wang Z., Kusky T. The importance of a weak mid-lithospheric layer on the evolution of the cratonic lithosphere // Earth-Science Reviews. 2019. V. 190. P. 557–569. DOI: 10.1016/j.earscirev.2019.02.010.

Yang Y., Ritzwoller M., Lin F., Moschetti M., Shapiro N. Structure of the crust and uppermost mantle beneath the western United States revealed by ambient noise and earthquake tomography // Journal of Geophysical Research. 2008. V. 113. B12310. DOI: 10.1029/2008JB005833

Zhu J., Fang L., Miao F., Fan L., Zhang J., Li Z. Deep learning and transfer learning of earthquake and quarry-blast discrimination: applications to southern California and eastern Kentucky // Geophysical Journal International. 2024. V. 236. № 2. P. 979–993. DOI: 10.1093/gji/ggad463

New Broadband Seismic Stations in the Central Part of the East European Platform

A. G. Goev^{a, *}, I. M. Aleshin^b, N. L. Konstantinovskaya^a, R. A. Reznichenko^a,
N. A. Yudochnik^a, and M. N. Drobyshev^b

^a*Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

^b*Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

**e-mail: goev@idg.ras.ru*

Received March 23, 2024; revised May 21, 2024; accepted July 22, 2024

Abstract — The paper presents information on the development of a broadband seismic station network in the central part of the East European platform. Three new seismic stations have been installed: Udomlya (UDO), Borok (BROK), and Vladimir (VLD). Their recording capabilities have been analyzed. It has been shown that the use of data from new stations makes it possible to successfully register and locate both teleseismic and local seismic events of various origins. The location and quality of data from the new stations will make it possible to characterize the structure of the earth's crust and upper mantle of the Fennoscandia and Volga-Uralia megablocks near their collision zone in the future.

Keywords: seismic network, the East European platform, seismicity, explosion, quarry