

Совершенствование технологии сбора и обработки информации о региональной сейсмичности на юге Восточно-Европейской платформы

©2025 Р. С. Пивоваров✉, П. Г. Бутырин

Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба РАН», пр. Ленина, 189, 249035, Обнинск, Российская Федерация

Аннотация

Введение: представлен анализ сейсмичности южной части Восточно-Европейской платформы за инструментальный период (~25 лет). Ранее проведенная оценка чувствительности сети на юге Восточно-Европейской платформы показала, что сеть не позволяет уверенно регистрировать события с $M \sim 2.8$ (M – расчётная магнитуда). Землетрясения, регистрируются редкой сетью сейсмических станций и не в полной мере отражают сейсмические условия юга Восточно-Европейской платформы. Сеть состоит из 3-х компонентных станций, большинство которых имеют высокий уровень сейсмического шума. Большой вклад в регистрацию событий различной природы на исследуемой территории вносит малоапертурная сейсмическая группа «Михнево» (Институт динамики геосфер). Рассматриваются современные перспективные направления изучения сейсмичности южной части Восточно-Европейской платформы. Приведен пример использования данных сейсмической группы AKASG.

Район исследований: территория южной части Восточно-Европейской платформы относится к умеренной тектонической активности. Одно из последних ощутимых землетрясений произошло 1 февраля 2025 г. в $16^{\text{h}}21^{\text{m}}18^{\text{s}}$ с $m_b=3.6$ (m_b – магнитуда по объёмной P -волне) между населёнными пунктами Полтава и Решетилловка. Координаты $\varphi=49.59^\circ \text{ N}$, $\lambda=34.26^\circ \text{ E}$, глубина очага $h=3$ км.

Методика сбора и обработки: обработка сейсмических данных района исследований состоит из следующих пунктов – автоматическая обработка, интерактивный бюллетень, обработка сейсмических групп. Используется комплекс программ NDC in BOX, разработанный организацией Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, включающий *SeisComp*, *Geotool*, *GPMCC*. Приведен пример обработки и интерпретации землетрясения 1 февраля 2025 г., проведено сравнение основных параметров этого землетрясения, определенных различными методами, Международными и региональными сейсмологическими центрами. Проведён анализ трех сейсмических событий, произошедших в Полтавской области, рассмотрены особенности и отличия спектрограмм землетрясений с эпицентрами на разных бортах Днепровско-Донецкого авлакогена.

Выводы: территория южной части Восточно-Европейской платформы не является сейсмически пассивной. За последние 25 лет было зарегистрировано более десятка ощутимых землетрясений. В районах со слабой сейсмичностью целесообразно использовать сейсмические группы. Это позволит более детально изучать сейсмический режим.

Ключевые слова: Восточно-Европейская платформа, Днепровско-Донецкий авлакоген, землетрясение, сейсмическая станция, сейсмическая группа, спектрограмма.

Источник финансирования: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25) 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».



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Пивоваров Р. С., Бутырин П. Г. Совершенствование технологии сбора и обработки информации о региональной сейсмичности на юге Восточно-Европейской платформы // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2025. № 3. С. 65–75. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2025/3/65-75>

Введение

На протяжении последних десятилетий Федеральный исследовательский центр «Единая Геофизическая служба РАН» (ФИЦ ЕГС РАН) и Воронежский государственный университет (ВГУ), совместно выполняют фундаментальные исследования и решают прикладные задачи разномасштабного сейсмического мониторинга станциями, расположенными на Воронежском кристаллическом массиве (ВКМ). Совместная обработка цифровых записей по пяти стационарным станциям: «Сторожевое» (VSR), «Дивногорье» (VORD), «Новохоперск» (VRH), «Воронеж» (VORR), «Галичья гора» (LPSR), позволила принять участие в задачах расширения границ исследования платформенной сейсмичности за счет дополнения районов сочленения Воронежской антеклизы, территориями Днепровско-Донецкого авлакогена (ДДА), северной части Украинского щита (УЩ), северного побережья Азовского моря и северной части Скифской плиты, т.е. юго-западной части Восточно-Европейской платформы (ВЕП).

Ранее проведенная оценка чувствительности сети на юге ВЕП [1], показала, что сеть не позволяет уверенно регистрировать здесь события с $M \sim 2.8$. Это связано с тем, что сеть станций, которая в настоящее время используется для определения параметров сейсмических событий распределена на территории юга ВЕП неравномерно, состоит из 3х компонентных станций, большинство которых имеют высокий уровень сейсмического шума, так как расположены вблизи источников техногенных и природных шумов. Установка нескольких дополнительных 3х компонентных станций вряд ли сильно изменит ситуацию, поскольку для локализации сейсмических событий требуется сеть станций с большой плотностью.

Большой вклад в регистрацию событий различной природы на территории ВЕП вносит малоапертурная сейсмическая группа (СГ) Михнево [2]. Ежегодный, сейсмический каталог, сформированный по результатам обработки СГ Михнево содержит несколько сотен событий, не зарегистрированных сетью трехкомпонентных станций, что доказывает перспективность использования сейсмических групп для мониторинга событий в этом районе. По данным сейсмических групп имеется возможность обнаружения и параметризации более слабых событий, чем по отдельной трехкомпонентной станции за счет того, что соотношение сигнал/шум (G) может быть значительно увеличено, до $G = \sqrt{N}$ раз (N –

количество элементов группы), за счет построения "луча" (суммирования отдельных трасс с учетом задержек во времени). Главным недостатком СГ Михнево является невозможность регистрации в режиме реального времени.

Для улучшения качества сейсмического каталога для юга ВЕП, потребовалась модернизация сбора и обработки данных в исследуемом районе.

Район исследования

Территория южной части ВЕП характеризуется умеренной тектонической активностью. Самые сильные инструментально зарегистрированные землетрясения имели магнитуду ~ 5 (Сальское 22.05.2001 г. с $M_s = 4.7$ (M_s – магнитуда по поверхностной волне Релея), $I_0 = 6-7$ (I_0 – интенсивность сотрясений в эпицентре в баллах), (Северный Кавказ), Мариупольское 07.08.2016 г. с $M_s = 4.7$, Северное Приазовье) [3, 4]. С 2000 года инструментально зарегистрировано пятнадцать тектонических землетрясений с магнитудой больше 2.3, все землетрясения коровые (рис. 1).

Для самых сильных из них макросейсмический эффект достигал 6 баллов по шкале МСК-64 [6–8]. В рассматриваемом районе наблюдается мощная техногенная нагрузка на геологическую среду, что может способствовать увеличению числа техногенных и природно-техногенных землетрясений, а также ускорить процесс подготовки тектонических землетрясений.

Одно из последних ощутимых землетрясений в южной части ВЕП произошло 1 февраля 2025 г. в $16^h 21^{m} 18^s$ с $m_b = 3.6$ между населенными пунктами Полтава и Решетиловка. Координаты $\varphi = 49.59^\circ$ N, $\lambda = 34.26^\circ$ E, глубина очага $h = 3$ км [9]. На основании сведений из сети Интернет, местные жители ощущали землетрясение – в многоэтажных домах дрожала мебель, раскачивались люстры, и звенела посуда. Сообщений о разрушениях инфраструктуры и пострадавших среди населения не сообщалось [10].

Методика сбора и обработки

В лаборатории Исследования региональной сейсмичности (ИРС), при участии отдела Информационно-технологических систем (ИТС), разработан проект технологии сбора и обработки данных в названном районе с учетом современных возможностей, который включает:

1. расширение состава сети за счет подключения в единое информационное пространство всех станций, расположенных на европейской части территории Российской Федерации и ближайшего окружения, с подключением сейсмических групп различной конфигурации;
2. автоматизация сбора цифровых записей в режиме реального времени и получение параметров землетрясений с минимальной временной задержкой с помощью программного комплекса *SeisComp*;
3. уточнение параметров землетрясений в программе *Geotool*;

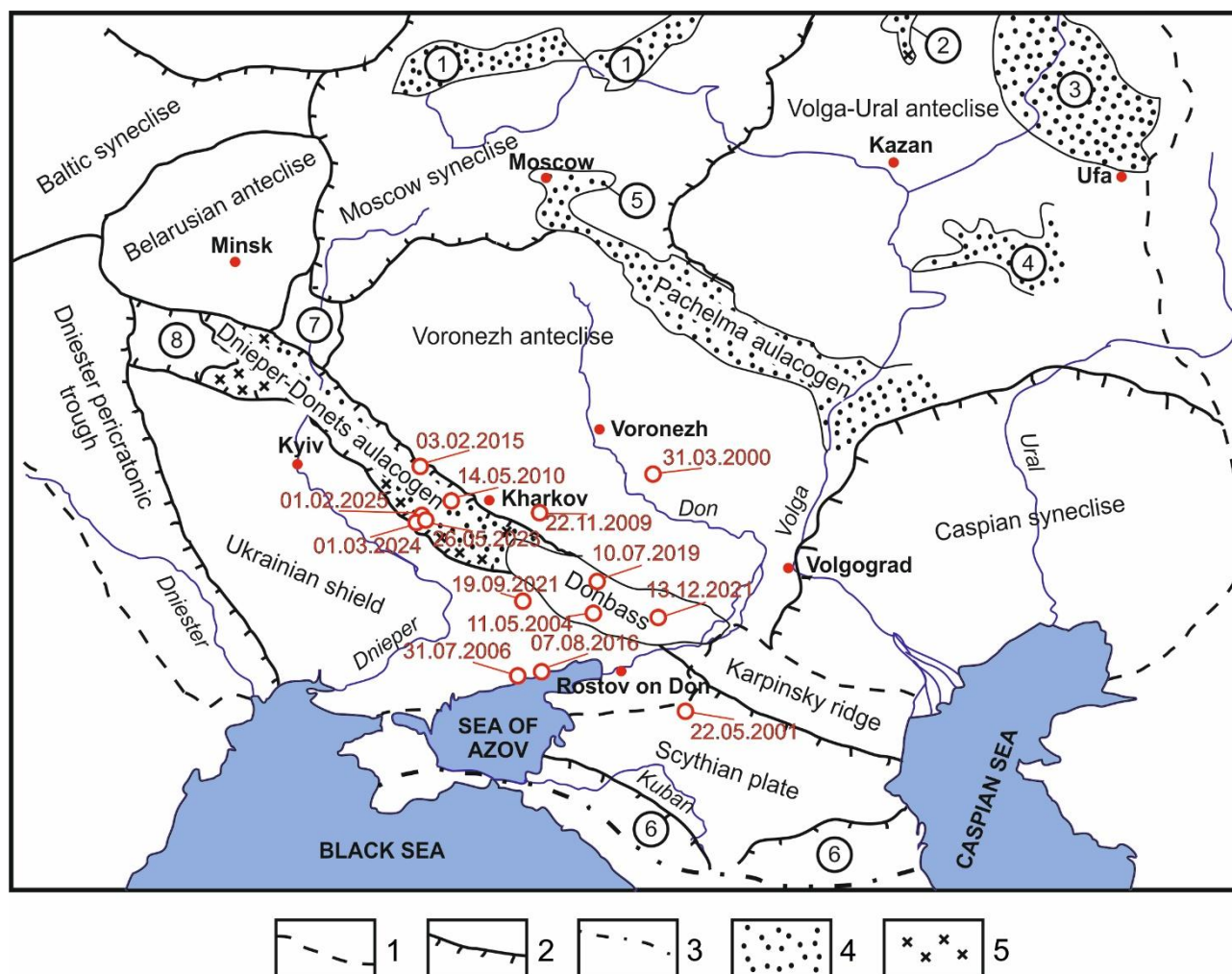


Рис. 1. Современная сейсмичность юго-западной части ВЕП на фоне тектонической схемы [5]: 1 – граница Восточно-Европейской платформы, 2 – граница основных структур, 3 – южная граница Скифской плиты, 4 – докембрийские авлакогены, 5 – палеозойские авлакогены. Цифры в кружках: 1–4 – авлакогены (1 – Среднерусский, 2 – Кажимский, 3 – Колтасинский, 4 – Средноводско-Абдулинский); 5 – Московский грабен, 6 – Предкавказский передовой прогиб, 7 – Жлобинская седловина, 8 – Полеская.

[Fig. 1. Modern seismicity of the southwestern part of the EEP against the background of the tectonic scheme [5]: (1) – boundary of the East European Platform, (2) – boundary of the main structures, (3) – southern boundary of the Scythian Plate, (4) – Precambrian aulacogens, (5) – Paleozoic aulacogens. Numbers in circles: (1–4) – aulacogens (1) – Central Russian, (2) – Kazhinsky, (3) – Koltasinsky, (4) – Srednovodsko-Abdulinsky); (5) – Moscow graben, (6) – Ciscaucasian foredeep, (7) – Zhlobin Saddle, (8) – Polesie.]

4. использование новых методов обнаружения и локализации событий, например, кросс-корреляционного метода [11].

5. использование новых методов распознавания природы сейсмических событий, в том числе с помощью внедрения ряда скриптов, построенных в программе ObsPy.

Автоматическая обработка. Для организации автоматической обработки данных был установлен комплекс программ NDC in BOX, разработанный и предоставленный организацией Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ), в этот пакет входят программы *SeisComp*, *Geotool*, *GPMCC* и другие. Перечисленные программы переведены на русский язык. Проверен и документирован механизм внесения в систему и использования сейсмических групп. Программа *Geotool* дополнена

приложением кросс-корреляционного анализа по набору «Мастер-событий» с визуализацией результатов в окнах *Geotool*.

Был сформирован предварительный список, состоящий из 191 станции, необходимых для решения региональных задач и функционирования системы сбора *SeisComp*. Из этого списка была запущена загрузка волновых форм 91 станции, для которых были в наличии файлы метаданных станций.

Получение такого значительного комплексного объема станций и их метаданных стал возможен благодаря использованию Единой системы доступа к геофизическим данным ФИЦ ЕГС РАН [12]. Система подразумевает комплексирование публикации всего необходимого объема ретроспективной и оперативной геофизической информации на одном узле доступа. В результате различные получатели, используя единый

источник будут получать достоверные результаты обработки и интерпретации.

На рис. 2 приведен пример автоматической локализации для землетрясения 1 февраля 2025 г. в 16:21 в районе Полтавы [9]. Оперативное решение было получено по данным 13 станций, $t_0=16:21:17$, $\varphi=49.55^\circ \pm 3$ км, $\lambda=34.27^\circ \pm 5$ км, $h=0$, $m_b=4.3$, $M=4.2$ (табл. 1).

Программа *scolv* позволяет работать в интерактив-

ном режиме. Для этого в правом углу рабочего окна предлагаются несколько опций для визуализации распределения выделенных времен Р-волн с расстоянием, азимуту, на редуцированном годографе и пр. (рис. 2). В настоящее время для автоматической локализации используется годограф IASPEI91 (метод LOCSAT), зарекомендовавший себя в различных международных сейсмологических центрах.

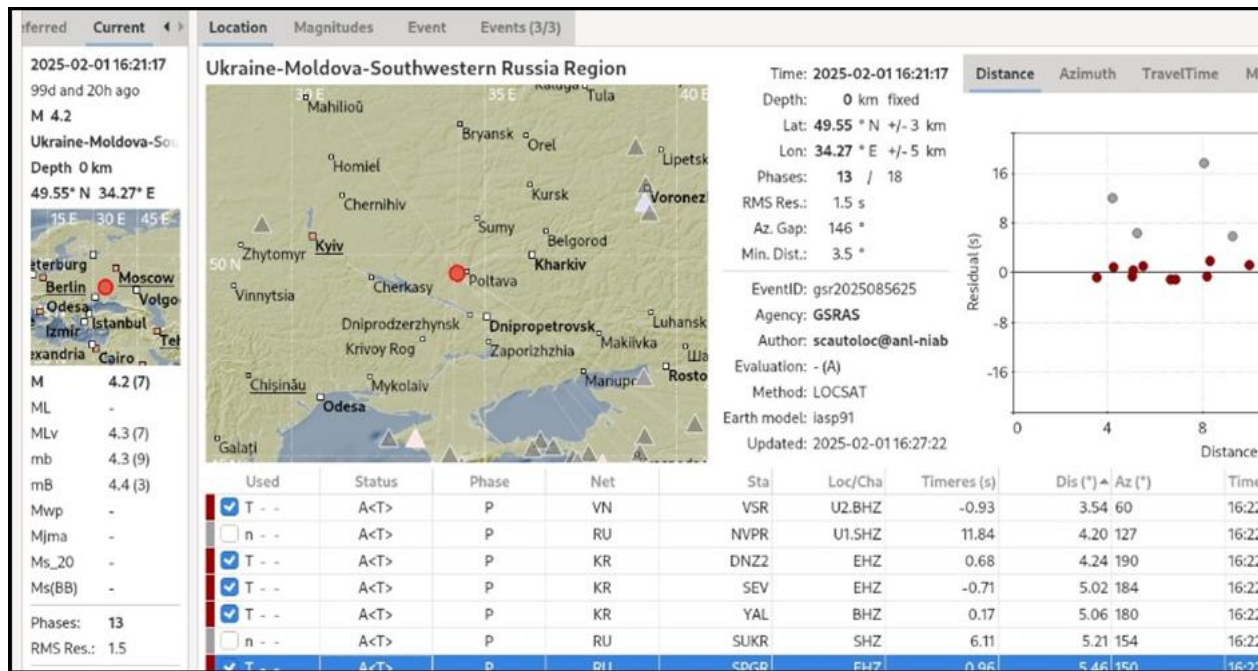


Рис. 2. Рабочее окно программы *scolv* системы *SeisComp*. Слева сверху карта с расположением станций, среди них закрашенные серым треугольники – станции не участвовали в локации, цветные треугольники (цвет в зависимости от установленной невязки) – участвующие в локации, справа сверху положение выделенных времен Р-волн в виде редуцированного годографа, относительно скорости $V_P=6.0$ км/с.

[Fig. 2. The working window of the *scolv* program of the *SeisComp* system. On the left at the top is a map with the location of stations, among them the gray-shaded triangles are stations that did not participate in the location, the colored triangles (the color depends on the established discrepancy) are those that participated in the location, on the right at the top is the position of the selected times of P-waves in the form of a reduced hodograph, relative to the velocity $V_P=6.0$ km/s.]

Интерактивный бюллетень (GEOTOOL). Положение гипоцентра было определено по записям сейсмических станций, расположенных на региональных расстояниях (рис. 3), проведено уточнение параметров сейсмического события с помощью программы GEOTOOL, метод локализации LOCSAT [13], для расчета эпицентральных расстояний использовалась скоростная модель Щукина Ю.К. [5, 14].

Для локализации гипоцентра были использованы данные 21 сейсмической станции, диапазон эпицентральных расстояний от сейсмической группы Малин АКВВ (3.42°) до Ловозеро LVZ (18.36°). На рис. 3 представлены сейсмические записи. В табл. 1 приводятся параметры землетрясения 1 февраля 2025 г., полученные различными сейсмологическими центрами [15].

Обработка сейсмических групп. Сейсмические группы значительно превосходят трехкомпонентные сейсмические станции по чувствительности и дальности регистрации. Кроме того, сейсмическая группа

имеет преимущества перед единичной трёхкомпонентной станцией в плане обработки, даже по одной СГ, зарегистрировавшей сейсмические события, могут быть определены координаты события и время в очаге. Обработка записей сейсмических групп предусматривает определение времен вступлений различных сейсмических фаз, азимута на источник (баказимута), а также кажущейся скорости. По разности времен вступлений сейсмических фаз и годографу можно оценить эпицентральное расстояние. По расстоянию и баказимуту может быть найден эпицентр. Кажущаяся скорость помогает в правильной интерпретации типа сейсмической волны. Баказимут и кажущаяся скорость сейсмических сигналов определяются с использованием пространственно-временного спектрального анализа записей (f-k – анализ) [16–18]. В программном пакете Geotool эта возможность реализована [19].

Для обработки сейсмических событий на юге ВЕП эффективно будет использование СГ АКАСГ (PS45)

Международной системы мониторинга (МСМ) ДВЗЯИ. Первичная сейсмическая станция PS45, AKASG, расположенная недалеко от города Малин, примерно в 100 км к северо-западу от Киева, была открыта для эксплуата-

ции в 1980 году в СССР, специально для мониторинга ядерных испытаний. В 1996 году Малин был выбран в качестве одной из 50 первичных станций МСМ как PS45, AKASG, с координатами 50.4 N, 29.1 E [20].

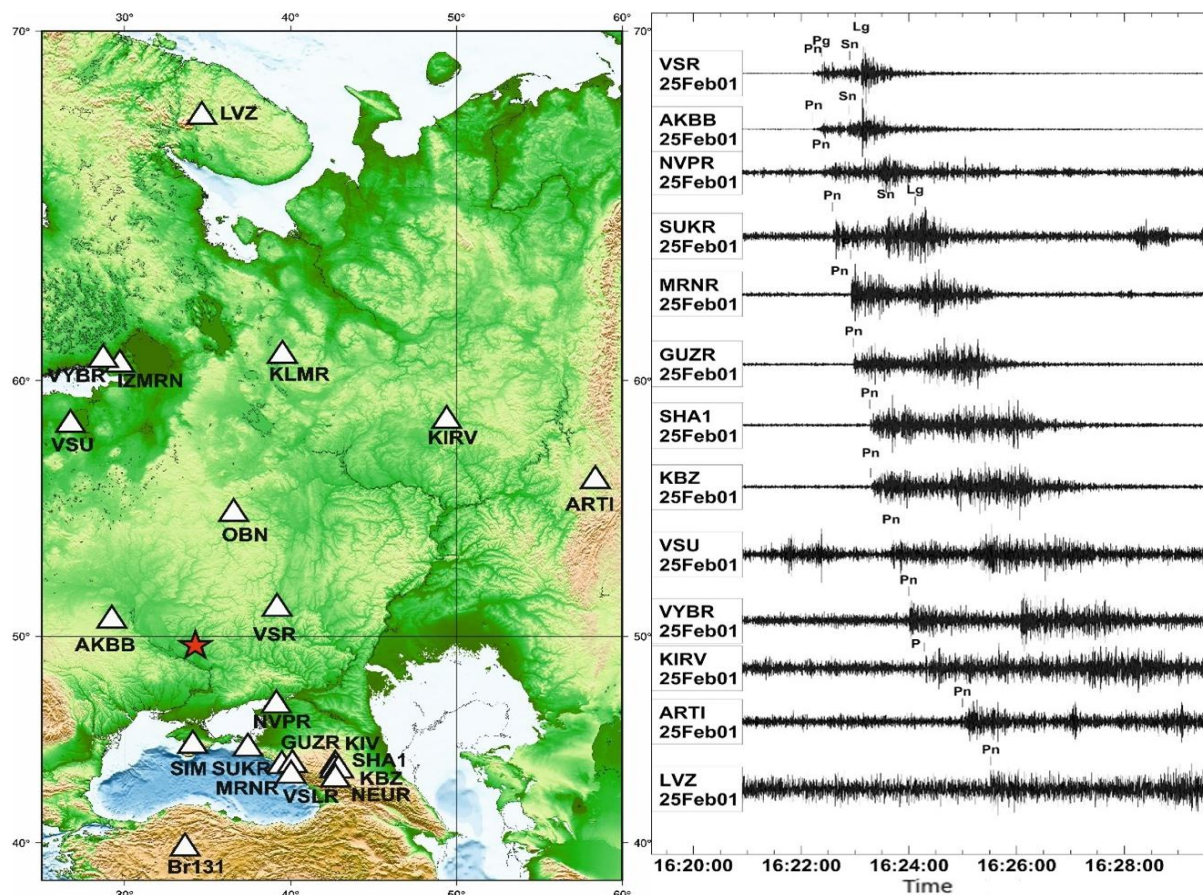


Рис. 3. Карта расположения эпицентра землетрясения 1 февраля 2025 г. в 16^h21^m (звездочка) и сейсмических станций (треугольники), участвующих в обработке и записи вертикальной компоненты волнового поля (фильтр 2–5 Гц) [9].

[Fig. 3. Map of the location of the epicenter of the earthquake on February 1, 2025 at 16h21m (asterisk) and seismic stations (triangles) involved in processing and recording the vertical component of the wave field (filter 2–5 Hz) [9].]

Табл. 1. Основные параметры землетрясения 01 февраля 2025 г. по данным ФИЦ ЕГС РАН (служба срочных донесений, автоматическое решение SEISCOMP, уточненное решение GEOTOOL, решение по данным СГ AKASG) и других агентств

[Table 1. The earthquake parameters (February 1, 2025) according to the data of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (Earthquakes early alert service, SEISCOMP automatic solution, GEOTOOL manual solution, solution based on data from the AKASG array) and other agencies]

Агентство [Agency]	t_0 , чч:мм:сс	δt_0 , с	Гипоцентр [Hypocenter]						Магнитуда [Magnitude]	Окружение эпицентра [Surrounding the epicenter]			
			φ° , N	$\delta\varphi^\circ$	λ° , E	$\delta\lambda^\circ$	h , км	δh , км		п ст.	Δ_{\min} , °	Δ_{\max} , °	Gap, °
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ССД ФИЦ ЕГС РАН [EEAS GS RAS]	16:21:17.1		49.58		34.33		10	fix	$m_b=3.6/5$ $K_p=12.7$	18	3.47	65.57	
АВТОМАТ SEISCOMP [AUTOMATIC SEISCOMP]	16:21:17	1.5	49.55	3	34.27	5	0	fix	$m_b=4.3/9$ $M=4.2/7$	13	3.5		146
ФИЦ ЕГС РАН [GS RAS]	16:21:17.7	1.32	49.5948		34.2607		3.4		$ML=3.9/12$	21	3.42	18.36	108

Продолжение табл. 1
[Continued Table 1]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
СГ АКАСГ [SG AKASG]	16:21:21.6		49.9425		34.1332		0	fix	$m_b=3.95/1$	1			
IDC REB	16:21:15.6	0.63	49.6074		34.4316		0.0	6	$ML=3.6/11$ $m_b=3.6/6$	20	3.53	65.57	54
EMSC	16:21:18.2	0.2	49.52	0.3	34.23	0.2	2	2	$ML=4.27/6$ $m_b=4.17/13$	51	0.22	9.34	127.5
NORSAR	16:21:12.5	1.75	49.3716		35.1968		9.8f		$ML=3.6/1$	4	6.86	20.76	269

Примечание: ССД ФИЦ ЕГС РАН – Служба срочных донесений Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»; ФИЦ ЕГС РАН – уточнение по данным 21 сейсмической станции; IDC REB – уточненный бюллетень Международного центра данных Организации ДВЗЯИ; EMSC – Европейско-Средиземноморский сейсмологический центр, NORSAR – Норвежский сейсмологический центр. ML – локальная магнитуда; K_p – энергетический класс по Т. Г. Раутиан.

[Note: SDS of the Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences – Urgent Reports Service of the Federal Research Center "Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences"; FIC EGS RAS – clarification based on data from 21 seismic stations; IDC REB – Revised Bulletin of the CTBT International Data Center; EMSC – European-Mediterranean Seismological Center, NORSAR – Norwegian Seismological Center. ML – local magnitude; KR – energy class according to T. G. Rautian.]

Сейсмическая группа АКАСГ является средне-апертурной (25 км) состоит из 23 вертикальных элементов, установленных в скважинах, глубиной от 19 до 97 м, и одной широкополосной трехкомпонентной станции. Данные станции доступны в режиме реального времени. На 23 вертикальных элементах установлены современные однокомпонентные короткопериодные вертикальные скважинные сейсмометры Güralp CMG-ESPV (AK01-23), на центральном

опорном элементе АКВВ, установлен поверхностный трехкомпонентный широкополосный сейсмометр CMG-3T компании Güralp, на всех элементах количество отсчетов 40 Гц. На рис. 4 показана схема расположения СГ. Все элементы СГ АКАСГ установлены на коренных породах, вдали от источников техногенных и естественных помех, в связи этим, уровень сейсмического шума на каждом элементе близок к нижеуровневой модели Петерсона [21].

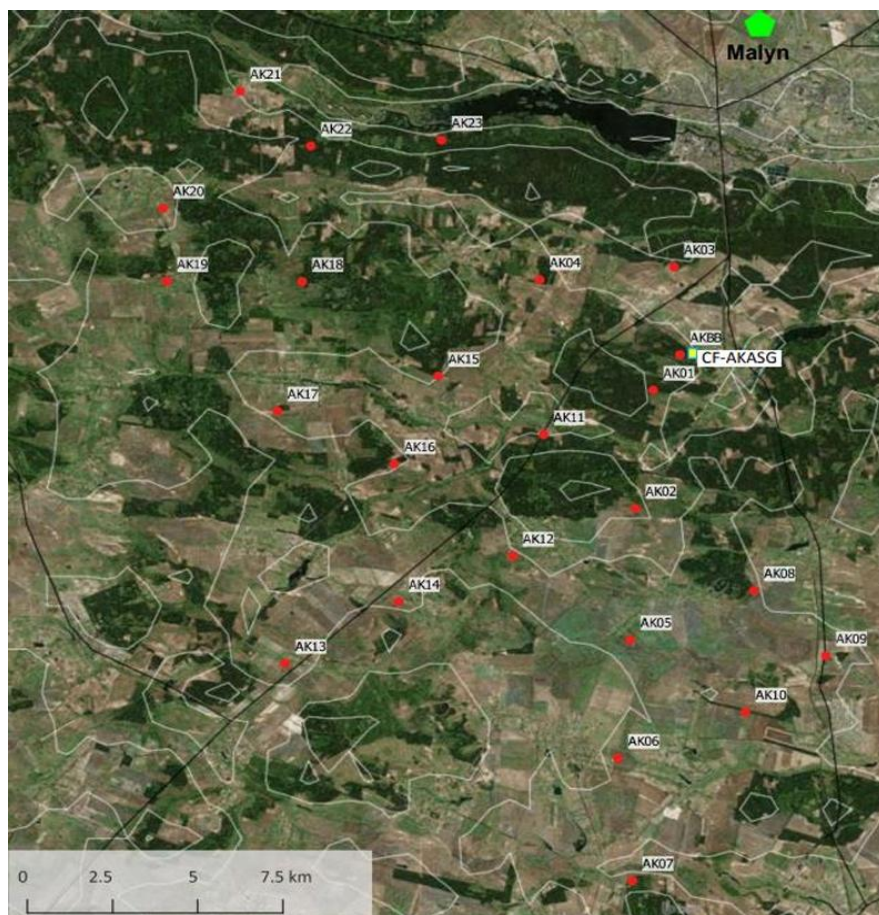


Рис. 4. Схема расположения элементов СГ АКАСГ.
[Fig. 4. Layout diagram of the seismic array AKASG elements.]

На рис. 5 приведены результаты обработки землетрясения 1 февраля 2025 г., по записям СГ АКАСГ, программой GEOTOOL, показан как "луч", так и результаты фк-анализа. Медленность $Slow=11.5390$ с/гр.,

кажущаяся скорость $V_{app}=9.636$ км/с, отношение сигнал/шум $SNR=134$. Результаты локализации, следующие: $t_0=16:21:21.6$, $\varphi=49.9425^\circ$, $\lambda=34.1332^\circ$, $m_b=3.95$ (табл. 1).

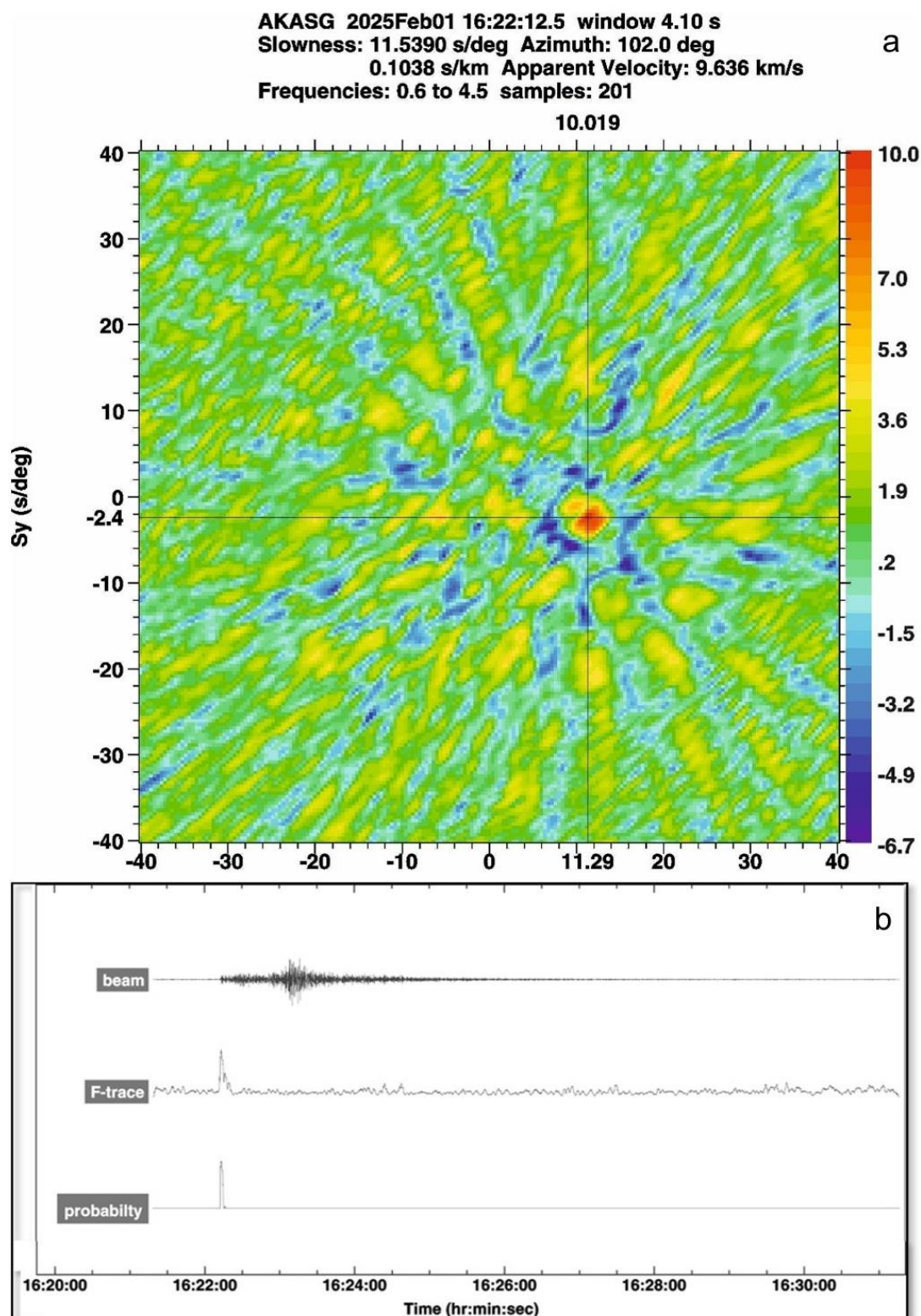


Рис. 5. Результаты обработки землетрясения 1 февраля 2025 г. программой GEOTOOL по СГ АКАСГ: а) фк-анализ, б) "луч".
[Fig. 5. Results of processing the earthquake of February 1, 2025 by the GEOTOOL program at the seismic array AKASG: (a) f-k analysis, (b) beam.]

Анализ волновой картины сейсмических записей.

На рис. 6 представлены записи вертикальной компоненты волнового поля землетрясений из района Полтавы, зарегистрированных сейсмической станцией VSR (табл. 2).

Отчетливо выделяются объемные волны: Pn , Pg , Lg , поверхностные волны не выделяются. Хорошо видно, что записи двух землетрясений (верхняя и средняя сейсмограммы), гипоцентры которых находятся в зоне сочленения ДДА и УЩ на практически одном эпицентральной расстоянии ($\Delta=3.2^\circ$) от станции близки по форме и амплитуде, при этом запись землетрясения 03 февраля 2015 г., произошедшего в зоне сочленения ДДА и ВКМ незначительно отличается, это связано с разными трассами на станцию VSR, и с разными глубинами гипоцентров. На сейсмограммах всех трех землетрясений доминирует волна Lg , что характерно для континентальных районов со слабым поглощением поперечных волн.

Частотный состав записей сейсмических событий,

особенно тектонического происхождения, изменив во времени. Поэтому спектры событий сами по себе не очень информативны, например, для сейсмического распознавания взрывов и землетрясений. Значительно более информативны спектральные диаграммы (сонограммы или спектрограммы), иллюстрирующие картину изменения спектра событий во времени.

Пример спектрального анализа в виде спектрограмм показан на рис. 6 для записей вертикальных компонент станций «Сторожевое»–VSR. Более светлые участки показывают вступления основных волн. Для разных волн они различны: для Pn , Pg достаточно узкая полоса 2–4 Гц, волны Lg наиболее устойчиво выражены в довольно широком диапазоне частот от 1 до 8 Гц, максимум спектра Lg -волны приходится на 2–4 Гц.

Благодаря анализу спектрограмм, хорошо видны отличия землетрясений, произошедших на разных бортах Днепровско-Донецкого авлакогена. На спектрограмме землетрясения 03.02.2015 г. выделяется поверхностная волна.

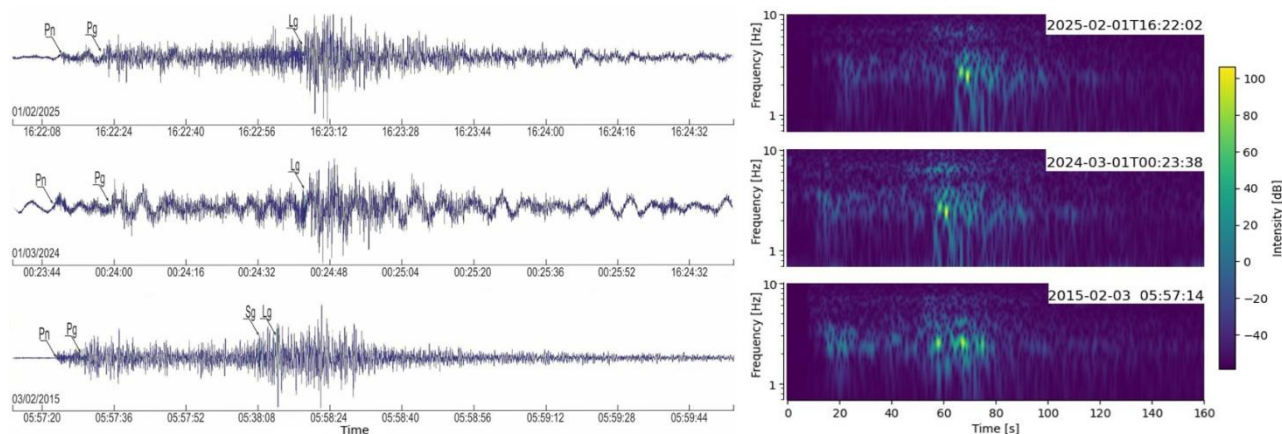


Рис. 6. Записи (без применения фильтрации) и спектрограммы (построенные в программе ObsPy) вертикальной компоненты волнового поля землетрясений по данным сейсмической станции VSR: 01.02.2025 г., 01.03.2024 г., 03.02.2015 г.

[Fig. 6. Records (without filtering) and spectrograms (built in the ObsPy program) of the vertical component of the wave field of earthquakes according to the VSR seismic station data: 01.02.2025, 01.03.2024, 03.02.2015.]

Табл. 2. Основные параметры землетрясений в Полтавской области
[Table 2. Poltava region earthquakes parameters]

Дата [Date]	t_0 , чч:мм:сс	φ° , N	λ° , E	h , км	M	Интенсивность [Intensity]
03.02.2015	05:56:30.2	50.51	34.18	3	3.7	$I_0=4-5$
01.03.2024	00:22:50.9	49.48	34.18	5	3.9	$I_0=4$
01.02.2025	16:21:18.0	49.58	34.33	3	3.4	$I_0=4$

Выводы

За последние 25 лет в южной части Восточно-Европейской платформы было зарегистрировано более десятка ощутимых землетрясений. Этот факт не позволяет называть ВЕП сейсмически пассивным регионом. При этом район Днепровско-Донецкого авлакогена слабо оснащен сейсмическими станциями.

В районах со слабой сейсмичностью, а также со слабым покрытием сейсмических станций, актуально

использование сейсмических групп. При обработке записей сейсмических групп значительно возрастает отношение сигнал к шуму и соответственно улучшается качество выделения полезного сигнала, увеличивается дальность регистрации, понижается порог представительных магнитуд. Это позволяет более детально изучать сейсмический режим.

Изучение слабых землетрясений, регистрируемых с помощью инструментальных наблюдений, имеет

важное значение. Такую сейсмичность в дополнение к данным об известных исторических сильных землетрясениях можно использовать для проведения детального сейсмического районирования. Использование корреляционных методов, спектрограмм позволяет отличить землетрясения от других сейсмических явлений, таких как взрывы, обрушения или техногенные воздействия.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Габсатарова И. П., Ассиновская Б. А., Баранов С. В., Карпинский В. В., Конечная Я. В., Мунирова Л. М., Надёжка Л. И., Никулин В. Г., Носкова Н. Н., Петров С. И., Пивоваров С. П., Санина И. А. Сейсмичность Российской части Восточно-Европейской платформы и ближайшего окружения в 2015 г. // *Землетрясения Северной Евразии*. 2021. Вып. 24. С. 182–191. DOI: 10.35540/1818-6254.2021.24.17. EDN: TDOJDR.
2. Санина И. А., Ризниченко О. Ю., Волосов С. Г., Нестеркина М. А., Константиновская Н. Л. Уникальной научной установке «Михнево» ИДГ РАН – 15 // *Динамические процессы в геосферах*. 2019. (11). С. 48–56. <https://doi.org/10.26006/IDG.2019.11.38623>
3. Габсатарова И. П., Чепкунас Л. С., Бабкова Е. А., Татевосян Р. Э., Плетнев К. Г. Сальское землетрясение 22 мая 2001 года с $M_S=4.7$, $I_0=6-7$ (Северный Кавказ) // *Землетрясения Северной Евразии*. 2007. Вып. 10. С. 301–316.
4. Габсатарова И. П. Мариупольское землетрясение 7 августа 2016 г. с $M_w=4.6$, $I_0=5$ баллов на северо-западном побережье Азовского моря // *Землетрясения Северной Евразии*. 2022. Вып. 25. С. 285–293. DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.26. EDN: HYMBLK
5. Юдахин Ф. Н., Щукин Ю. К., Макаров В. И. Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 299 с.
6. Габсатарова И. П., Бабкова Е. А., Надежка Л. И., Пивоваров С. П., Семенов А. Е., Кендзера А. В., Пигулевский П. И., Щербина С. В., Чалый О. О., Ильенко В. А. Землетрясение 3 февраля 2015 г. на границе Полтавской и Сумской областей Украины по макросейсмическим и инструментальным данным // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2016. № 1. С. 115–123. EDN: VVS1YH.
7. Надежка Л. И., Сафронич И. Н., Пивоваров С. П., Габсатарова И. П., Михайлова Р. С., Бабкова Е. А. Никольское землетрясение // *Землетрясения Северной Евразии*. 2006. С. 245–253.
8. Надежка Л. И., Пивоваров С. П., Ефременко М. А., Семенов А. Е. О землетрясениях на территории Воронежского кристаллического массива. // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2010. № 1. С. 233–242.
9. Пивоваров Р. С., Ефременко М. А. Землетрясение 1 февраля 2025 г. на юге Восточно-Европейской платформы // *Российский сейсмологический журнал*. 2025. Т. 7. № 1. С. 88–94. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2025.1.07>. EDN: KOSBQX.
10. В Полтавской области произошло землетрясение [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/20250201/zemletryasenie-1996842450.html> (Дата обращения: 01.02.2025).
11. Китов И. О. Санина И. А., Сергеев С. С., Нестеркина М. А., Константиновская Н. Л. Обнаружение, оценка магнитуды и относительная локация слабых афтершоков с помощью кросс-корреляции волновых форм: землетрясение 7 августа 2016 г. в Мариуполе // *Сейсмические приборы*. 2017. Т. 53. № 2. С. 58–80.
12. Бутырин П. Г., Хряпина А. И., Климов К. В. Единая информационная система универсального доступа к сейсмологическим данным: концепция и пути разработки. *Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: тезисы XV Международной сейсмологической школы*. Обнинск, 2021. С. 18.
13. Bratt S. R., Bache T. C. Locating events with a space network of regional arrays // *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1988. 78. P. 780–798.
14. Санина И. А., Куликов В. И., Нестеркина М. А., Константиновская Н. Л., Волосов С. Г. Центральный район Европейской части России и Курско-Белгородский район. Глава 4. Региональные сейсмические наблюдения взрывов и землетрясений // *Взрывы и землетрясения на территории Европейской части России*. М.: ГЕОС, 2013. С. 140–164. EDN: SHAMBV.
15. Search Earthquake Bulletin [Электронный ресурс]. URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/> (Дата обращения: 02.02.2025). SeisComP Release Documentation [Электронный ресурс]. URL: <https://www.seiscomp.de/doc/> (Дата обращения: 15.12.2022).
16. Михайлова Н. Н. Важные результаты, полученные благодаря открытию сейсмических групп в Казахстане // *Вестник НЯЦ РК*. 2016. Вып. 2. 23 с.
17. Capon J. High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis // *Proceedings of the IEEE*, 1969. Vol. 57. Is. 8. P. 1408–1418.
18. Cansi Y., An automatic seismic event processing for detection and location: the PMCC method // *Geophys. Res. Lett.* 1995. 22. P. 1021–1024.
19. Coyne, J. M. Geotool Sourcebook: User's Manual // *Philips Laboratory Technical Report PL-TR-96-2021*. 1995.
20. Revalidation of specifications at primary seismic station PS45 – AKASG (Malin, Ukraine). CTBTO. Vienna. 2018. 37 p.
21. Peterson J. Observation and modelling of seismic background noise // *USGS Tech. Rept. OpenFiles*, 1993. 93–322. 95 p.

Пивоваров Роман Сергеевич, м.н.с. Федерального государственного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН), Обнинск, Российская Федерация; e-mail: Q5000@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1539-2267>

Бутырин Павел Генрихович, к.т.н, ст.н.с. Федерального государственного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН), Обнинск, Российская Федерация; e-mail: pbg2000@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1925-5533>

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Roman S. Pivovarov, Junior Researcher, Federal State Scientific Institution Federal Research Center “Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences” (FRC UGS RAS), Obninsk, Russian Federation; e-mail: Q5000@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1539-2267>

Pavel G. Butyrin, PhD in Technical, Senior Researcher, Federal State Scientific Institution Federal Research Center “Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences” (FRC UGS RAS), Obninsk, Russian Federation; e-mail: pbg2000@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1925-5533>

All authors have read and approved the final manuscript.

Improving the technology of collecting and processing information on regional seismicity in the south of the East European platform

©2025 R. S. Pivovarov✉, P. G. Butyrin

Federal Research Center "Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences", Lenin Ave., 189, 249035, Obninsk, Russian Federation

Abstract

Introduction: the seismicity analysis of the southern part of the East European platform for the instrumental period is presented (~25 years). Previously conducted assessment of the network sensitivity in the south of the East European platform showed that the network does not allow reliable registration of events with $M \sim 2.8$ (M – calculated magnitude). Earthquakes are recorded by a sparse network of seismic stations and do not fully reflect the seismic conditions of the south of the East European platform. The network consists of 3-component stations, most of which have a high level of seismic noise. A large contribution to the registration of events of various nature in the study area is made by the small-aperture seismic array "Mikhnevo" (Institute of Geosphere Dynamics). Modern promising areas of studying seismicity in the southern part of the East European platform are considered. An example of using the AKASG seismic array data is given.

Research area: the territory of the southern part of the East European platform is classified as moderate tectonic activity. One of the latest perceptible earthquakes occurred on February 1, 2025 at 16h21m18s with $m_b=3.6$ (m_b – magnitude of the body P-wave) between the settlements of Poltava and Reshetilovka. Coordinates $\varphi=49.59^\circ$ N, $\lambda=34.26^\circ$ E, focal depth $h=3$ km.

Collection and processing method: processing of seismic data of the study area consists of the following points – automatic processing, interactive bulletin, processing of seismic arrays. The NDC in BOX software package developed by the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization is used, including Seis-Comp, Geotool, GPMCC. An example of processing and interpretation of the earthquake of February 1, 2025 is given, a comparison of the main parameters of this earthquake, determined by various methods, International and regional seismological centers is carried out. An analysis of three seismic events that occurred in the Poltava region was conducted, and the features and differences of spectrograms of earthquakes with epicenters on different sides of the Dnieper-Donets aulacogen were considered.

Conclusions: the territory of the southern part of the East European platform is not seismically passive. Over the past 25 years, more than a dozen significant earthquakes have been recorded. In areas with weak seismicity, it is advisable to use seismic arrays. This will allow a more detailed study of the seismic regime.

Keywords: East European Platform, Dnieper-Donets aulacogen, earthquake, seismic station, seismic array, spectrogram.

Funding: the work was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (within the framework of state assignment No. 075-00604-25) and using data obtained at the unique scientific installation "Seismic infrasound complex for monitoring the Arctic cryolithozone and complex for continuous seismic monitoring of the Russian Federation, adjacent territories and the world".



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Pivovarov Roman Sergeevich, e-mail: Q5000@mail.ru

For citation: Pivovarov R. S., Butyrin P. G. Improving the technology of collecting and processing information on regional seismicity in the south of the East European Platform // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2025, no. 3, pp. 65–75. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2025/3/65-75>

Conflict of interest: The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

- Gabsatarova, I. P., Assinovskaya, B. A., Baranov, S. V., Karpinsky, V. V., Konechnaya, Ya. V., Munirova, L. M., Nadezhka, L. I., Nikulins, V. G., Noskova, N. N., Petrov, S. I., Pivovarov, S. P., & Sanina, I. A. Seismichnost' Rossijskoj chasti Vostochno-Evropejskoj platformy i blizhajshego okruzheniya v 2015 g. [Seismicity of the Russian part of East European platform and adjacent territories in 2015]. *Zemletrjasenija Severnoj Evrazii – Earthquakes in Northern Eurasia*, 2015, no. 24, pp. 182–191. (In Russ.). DOI: 10.35540/1818-6254.2021.24.17.
- Sanina I. A., Riznichenko O. Yu., Volosov S. G., Nesterkina M. A., Konstantinovskaya N. L. Unikal'noj nauchnoj ustanovke «Mihnevo» IDG RAN – 15 [The unique scientific installation "Mikhnevo" of the Institute of Geophysical Research of the Russian Academy of Sciences is 15]. *Dinamicheskie processy v geosferah – Dynamic processes in the geospheres*, 2019, no. 11, pp. 48–56 (In Russ.). <https://doi.org/10.26006/IDG.2019.11.38623>
- Gabsatarova I. P., Chepkunas L. S., Babkova E. A., Tatevosyan R. E., Pletnev K. G. Sal'skoe zemletryasenie 22 maya 2001 goda s MS=4.7, I0=6–7 (Severnyj Kavkaz) [Salsk earthquake on May 22, 2001 with MS=4.7, I0=6–7 (North Caucasus)]. *Zemletrjasenija Severnoj Evrazii – Earthquakes in Northern Eurasia*, 2007, vol. 10, pp. 301–316 (In Russ.).
- Gabsatarova, I. P. Mariupol'skoe zemletryasenie 7 avgusta 2016 g. s Mw=4.6, I0=5 ballo v na severo-zapadnom poberezh'e Azovskogo morya [Mariupol earthquake on August 7, 2016 with Mw=4.6, I0=5 points on the north-western coast of the Azov Sea]. *Zemletrjasenija Severnoj Evrazii – Earthquakes in Northern Eurasia*, 2022, vol. 25, pp. 285–293 (In Russ.). DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.26.
- Yudakhin, F. N., Shchukin, Yu. K., & Makarov, V. I. *Glubinnoe stroenie i sovremennye geodinamicheskie protsessy v litosfere Vostochno-Evropejskoj platformy* [Deep structure and modern geodynamic processes in the lithosphere of the East European platform]. Ekaterinburg, UB RAS publ., 2003, 299 p. (In Russ.).
- Gabsatarova I. P., Babkova E. A., Nadezhka L. I., Pivovarov S. P., Semenov A. E., Kendzera A. V., Pigulevsky P. I., Shcherbina S. V., Chaly O. O., Ilyenko V. A. Zemletryasenie 3 fevralya 2015 g. na granice Poltavskoj i Sumskoj oblastej Ukrainy po makrosejsmicheskim i instrumental'nym dannym [Earthquake on February 3, 2015 on the border of Poltava and Sumy regions of Ukraine according to macroseismic and instrumental data]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya. – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2016, vol. 1, pp. 115–123 (In Russ.).
- Nadezhka L. I., Safronich I. N., Pivovarov S. P., Gabsatarova I. P., Mikhailova R. S., Babkova E. A. Nikol'skoe zemletryasenie [Nikolskoye earthquake]. *Zemletryaseniya Severnoj Evrazii – Earthquakes of Northern Eurasia*, 2006, pp. 245–253 (In Russ.).
- Nadezhda L. I., Pivovarov S. P., Efremenko M. A., Semenov A. E. O zemletryasenyah na territorii Voronezhskogo kristallicheskogo massiva. [About earthquakes in the territory of the Voronezh crystalline massif.]. *Vestnik Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya. – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2010, no. 1, pp. 233–242 (In Russ.).
- Pivovarov, R. S., & Efremenko, M. A. Zemletryasenie 1 fevralya 2025 g. na yuge Vostochno-Evropejskoj platformy [Earthquake of February 1, 2025 in the south of the East European platform]. *Rossijskij seismologicheskij zhurnal – Russian Journal of Seismology*, 2025, vol. 7, no. 1, pp. 88–94 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2025.1.07>
- V. Poltavskoj oblasti proizoshlo zemletrjasenie [An earthquake occurred in Poltava region]. Available at: <https://ria.ru/20250201/zemletryasenie-1996842450>. (Accessed 01.02.2025) (In Russ.).
- Kitov I. Oh. Sanina I. A., Sergeev S. S., Nesterkina M. A., Konstantinovskaya N. L. Obnaruzhenie, ocenka magnitudy i odnositel'naya lokaciya slabych aftershokov s pomoshch'yu kross-korrelyacii volnovykh form: zemletryasenie 7 avgusta 2016 g. v Mariupole [Detection, Magnitude Estimation, and Relative Location of Weak Aftershocks Using Waveform Cross-Correlation: The August 7, 2016 Mariupol Earthquake]. *Seismicheskie pribory – Seismic instruments*, 2017, vol. 53, no. 2, pp. 58–80 (In Russ.).
- Butyrin P. G., Khryapina A. I., Klimov K. V. *Edinaya informacionnaya sistema universal'nogo dostupa k seismologicheskim dannym: koncepciya i puti razrabotki* [Unified information system of universal access to seismological data: concept and development paths]. *Sovremennye metody obrabotki i interpretacii seismologicheskikh dannyh: tezisy XV Mezhdunarodnoj seismologicheskij shkoly* [Modern methods of processing and interpretation of seismological data: thesis of the XV International Seismological School]. Obninsk, 2021, 18 p. (In Russ.).
- Bratt S. R., Bache T. C. Locating events with a space network of regional arrays. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1988, no. 78, pp. 780–798.
- Sanina I. A., Kulikov V. I., Nesterkina M. A., Konstantinovskaya N. L., Volosov S. G. Central'nyj rajon Evropejskoj chasti Rossii i Kursko-Belgorodskij rajon. Glava 4. Regional'nye sejsmicheskie nablyudeniya vzryvov i zemletryasenij [Central region of the European part of Russia and Kursk-Belgorod region. Chapter 4. Regional seismic observations of explosions and earthquakes]. *Vzryvy i zemletryaseniya na territorii Evropejskoj chasti Rossii – Explosions and earthquakes in the territory of the European part of Russia*. Moscow, GEOS, 2013. pp. 140–164 (In Russ.).
- Search Earthquake Bulletin. Available at: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/> (Accessed 02.02.2025). SeisComp Release Documentation. Available at: <https://www.seiscomp.de/doc/> (Accessed 15.12.2022)
- Mikhailova N. N. Vazhnye rezul'taty, poluchennye blagodarya otkrytiyu seismicheskikh grupp v Kazahstane [Important results obtained due to the discovery of seismic arrays in Kazakhstan]. *Vestnik NYAC RK – Bulletin of the NNC RK*, 2016, no. 2, 23 p. (In Russ.).
- Capon J. High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis. *Proceedings of the IEEE*, 1969, vol. 57, no.8, pp. 1408–1418.
- Cansi Y., An automatic seismic event processing for detection and location: the PMCC method. *Geophys. Res. Lett.*, 1995, no. 22, pp. 1021–1024.
- Coyne J. M. Geotool Sourcebook: User's Manual. *Philips Laboratory Technical Report PL-TR-96-2021*, 1995.
- Revalidation of specifications at primary seismic station PS45 – AKASG (Malin, Ukraine). CTBTO. Vienna, 2018, 37 p.
- Peterson J. Observation and modelling of seismic background noise. *USGS Tech. Rept. OpenFiles*, 1993. 93–322. 95 p