

ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКАЯ ПЛАТФОРМА:

УДК 550.34.034, 550.348. (436, 425)

СЕЙСМИЧНОСТЬ РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И БЛИЖАЙШЕГО ОКРУЖЕНИЯ В 2016–2017 гг.

И.П. Габсатарова¹, Б.А. Ассиновская¹, С.В. Баранов², В.В. Карпинский¹, Я.В. Конечная^{3,4},
Л.М. Мунирова¹, Л.И. Надёжка¹, Н.Н. Носкова⁵, С.И. Петров²,
С.П. Пивоваров¹, И.А. Санина⁶

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, ira@gsras.ru; ²Кольский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты;

³ФИЦ комплексного изучения Арктики им. академика РАН Н.П. Лаверова, г. Архангельск;

⁴Сектор сейсмического мониторинга Севера Русской плиты ФИЦ ЕГС РАН, г. Архангельск;

⁵ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар; ⁶Институт динамики геосфер РАН, г. Москва

Аннотация. На российской территории Восточно-Европейской платформы проводились сейсмические наблюдения 46 стационарными сейсмическими станциями, включая семь полевых сейсмических станций, расположенных в районе Нововоронежской и Курской атомных станций, и двумя минигруппами. Особенностью сейсмичности 2016–2017 гг. является возникновение роев слабых землетрясений на северо-западе Ленинградской области и прилегающей территории Финляндии, а также землетрясения с $M_{расч}=3.8$ (пересчетной из K_p) на Украинском щите в Кривом Роге, где проводятся массовые взрывы в шахтах, но случаются и землетрясения умеренных магнитуд $ML=2.6–3.9$ (2007, 2011, 2013 гг.). Продолжались слабые землетрясения в периферийных частях (на юго-западе, западе и северо-западе) платформы и в зонах, связанных с палеорифтовыми структурами: на северо-востоке – с Кировско-Кажимским и Среднерусским авлакогенами. Слабая природная сейсмичность с $ML \leq 2.5$ зафиксирована в Карелии и приграничных с Финляндией районах, вблизи Кандакшского залива, вблизи Хибинского и Ловозерского массивов на Кольском полуострове и на территории Воронежского кристаллического массива.

Ключевые слова: землетрясение, слабая сейсмичность, техногенная сейсмичность, Балтийский щит, Украинский щит, Кировско-Кажимский авлакоген, механизм очага.

DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.17. EDN: APIGYQ

Для цитирования: Габсатарова И.П., Ассиновская Б.А., Баранов С.В., Карпинский В.В., Конечная Я.В., Мунирова Л.М., Надёжка Л.И., Носкова Н.Н., Петров С.И., Пивоваров С.П., Санина И.А. Сейсмичность Российской части Восточно-Европейская платформы и ближайшего окружения в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 196–205. DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.17. EDN: APIGYQ

Введение. В 2016–2017 гг. был продолжен мониторинг сейсмичности в слабоактивных районах Восточно-Европейской платформы (ВЕП) в границах, определенных форматом настоящего журнала (рис. 1). Сейсмические наблюдения проводились региональными и локальными сетями, параметры сейсмических событий определялись в семи региональных центрах (Приложение 1 к статье), шесть из которых расположены в периферийных частях платформы: на Воронежском кристаллическом массиве (г. Воронеж), (Приложение 4); в южной части Балтийского щита (БЩ) (г. Санкт-Петербург), (Приложение 6); в юго-восточной части БЩ в Карелии (г. Петрозаводск), (Приложение 10); в восточной части БЩ (г. Апатиты), (Приложение 5); в пределах Двинского и Лешуконского грабенов (г. Архангельск) (Приложение 9); на северо-востоке ВЕП, на территории Республики Коми (г. Сыктывкар); (Приложение 7); в центральной части ВЕП на Московской синеклизе (г. Обнинск), (Приложение 8) (рис. 1).

Сеть сейсмических станций в 2016–2017 гг. значительных изменений относительно 2015 г. не претерпела [1], кроме открытия в 2017 г. двух дополнительных станций локальной сети на Нововоронежской АЭС в составе сети VMGSR ФИЦ ЕГС РАН (Приложение 1). Это не повлияло на общую чувствительность сети. Сеть в целом на территории российской части ВЕП состояла из 46 станций. Общая конфигурация сети и изолинии представительных магнитуд не изменились по сравнению с приведенными в [1].

Методика обработки. Методика обработки цифровых записей и получения параметров сейсмических событий также в основном осталась прежней по сравнению с описанной в 2015 г. [1]. Дополнительно к изложенным ранее методическим приемам добавилось применение в 2016–2017 гг. одного из методов определения и подтверждения природы сейсмических событий. Как описано в [2], в каждом региональном центре разработаны свои подходы для распознавания взрывов и землетрясений по форме записей, по характеру спектров и пр. В частности, для события в южной части ВЕП в ЦО ФИЦ ЕГС РАН с этой целью применялся высоко информативный в отечественной и международной практике спектральный дискриминант – логарифм отношения амплитудных спектров продольной и поперечной волны – $\lg(Pg/Lg)$. Известно немало примеров классификации событий по их природе с применением этого метода. Основы метода изложены в [3]. Методика включала в себя: обработку записей с выделением сейсмических фаз, фильтрацию и спектральный анализ, которые проводились с использованием программ WSG [4] и Geotool [5]; проведение сравнительного анализа спектров шумов и сигнала с выбором событий, где отношение сигнал/шум ≥ 3 ; фильтрацию с применением фильтра высоких частот для отсеивания в спектре значимых по амплитуде нормальных микросейсм ($T=5-6$ с), т.е. убирались частоты ниже 0.5 Гц, так как на отдельных записях амплитуды микросейсм были значительными; построение спектров – использовались фрагменты записи Pg и Lg -волн длительностью 10 с, которые поточно складывались для получения суммарного спектра трехкомпонентной записи; сглаживание спектров для исключения одиночных выбросов.

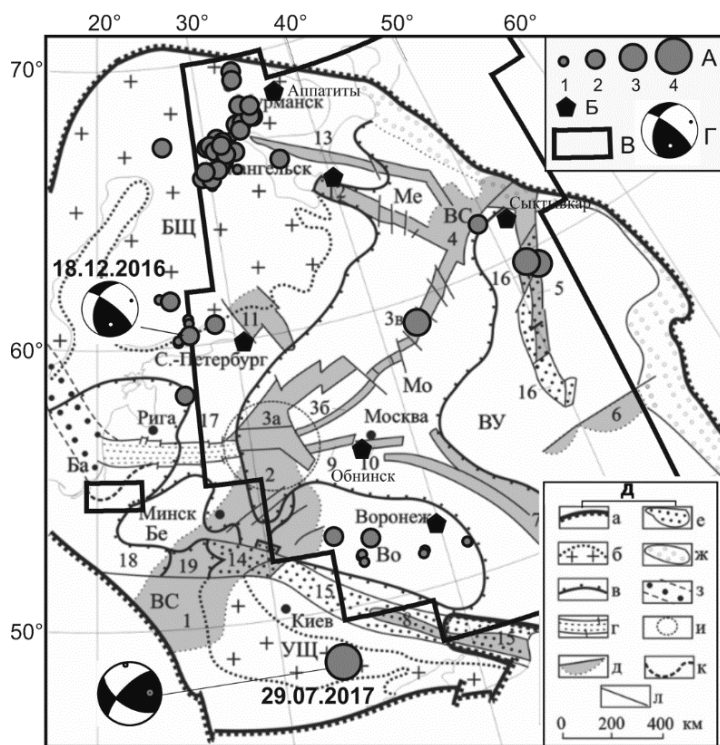


Рис. 1. Положение эпицентров землетрясений, зарегистрированных в 2016–2017 гг., на схеме основных тектонических элементов Восточно-Европейской платформы [6]

А – магнитуда M ; Б – региональный центр сбора и обработки сейсмологической информации; В – граница территории XIVa (Российская часть ВЕП); Г – диаграмма механизма очага в нижней полусфере; Д – тектонические элементы: а – граница платформы; б – щиты (БЩ – Балтийский, УЩ – Украинский); в – границы антеклиз и синеклиз (антеклизы: Бе – Белорусская, Во – Воронежская, ВУ – Волго-Уральская; Синеклизы: Ба – Балтийская, Мо – Московская, Ме – Мезенская); г – Полоцко-Курземский пояс разломов; д–е – системы палеорифтов: д – ранних (ВС – Вольно-Среднерусская система прогибов: 1 – Вольнский, 2 – Оршанский палеопроби; Среднерусский авлакоген: 3а – Крестовская (Валдайская), 3б – Тверская, 3в – Сухонская ветви; 4 – Яренская впадина; 5–8 – авлакогены: 5 – Кажимский (Вятский), 6 – Серноводско-Абдулинский, 7 – Пачелмский, 8 – Днепровско-Донецкий; 9–13 – грабены: 9 – Гжатский, 10 – Московский, 11 – Ладожский, 12 – Двинский, 13 – Лешуконский); е – поздних (14 – Припятский, 15 – Днепровско-Донецкий, 16 – Вятский прогибы); ж – зоны перикратонных опусканий, синхронных в развитии с ранними палеорифтами; з – Готландский пояс; и – контур Слободского позднепротерозойского тектоно-геодинамического узла; к – условная южная граница Клайпедской тектонической сигмиды; 17–19 – структуры: 17 – Латвийская седловина, 18 – Подляско-Брестская впадина, 19 – Полесская седловина; л – разлом.

Природная сейсмичность в отдельных районах ВЕП. Как и в 2014–2015 гг. [1, 7], особенностью сейсмичности территории ВЕП в 2016–2017 гг. являлась регистрация землетрясений в периферийных частях (на юго-западе, западе и северо-западе) и в зонах, связанных с палеорифтовыми структурами на северо-востоке платформы. Значительная часть зарегистрированных землетрясений произошла на территориях Балтийского и Украинского щитов. Зарегистрировано 98 сейсмических событий предположительно тектонической природы: 70 землетрясений в 2016 г. и 28 – в 2017 г. (Приложение 2).

Самое заметное землетрясение произошло на Украинском щите вблизи Кривого Рога 29 июля 2017 г. с $K_p=10.8$, $M_{расч}=(K_p-4)/1.8=3.8$. Это событие зарегистрировано и обработано рядом агентств: Международной сетью IMS, созданной в рамках Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, в IDC (Международный центр данных) получены параметры этого землетрясения, которые были переопределены в международном центре ISC, кроме того, в ЦО ФИЦ ЕГС РАН поступили данные Крымского центра (табл. 1).

Таблица 1. Основные параметры Криворожского землетрясения 29 июля 2017 г. с $K_p=10.8$ по данным различных центров

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источ- ник
			φ° , N	$\delta\varphi$, км	λ° , E	$\delta\lambda$, км	h , км	δh , км		
IDC	03 30 58.03	0.52	48.0057	10.5	33.444	7	0f	–	$mb=3.8/13$, $ML=3.4/11$	[8]
ISC	03 30 58.39	0.48	48.0562	6.5	33.593	4.7	10f	–	$mb=3.8/12$	–«–
OBGSR	03 30 58.60	1.60	48.0300	3.7	33.510	4.2	1.2	7.0	$K_p=10.8$	
VMGSR	03 30 58.0	–	47.70	–	34.03	–	5	–	$K_p=10.8$	
CFUSG	03 30 59.9	0.5	48.08	–	33.51	–	7	–	$K_p=10.5$, $MSH=3.8$, $mb=3.0$, $M_D=3.5$	[9]

Примечание. IDC – International Data Centre, Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (СТВТО), Austria; ISC – International Seismological Center, UK; OBGSR – ЦО ФИЦ ЕГС РАН (г. Обнинск); CFUSG – Институт сейсмологии и геодинамики Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского; VMGSR – ФИЦ ЕГС РАН совместно с Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Воронежский государственный университет».

В ЦО ФИЦ ЕГС РАН (код сети OBGSR, Обнинск) параметры землетрясения получены с использованием программы LocSat [10] и записей 44 станций, включающих четыре станции, расположенные на территории Украины: Полтава, Сквиря, Степановка, Одесса. Записи этих станций были получены по взаимному обмену данными с Институтом геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины.

Почти за две недели до землетрясения 29 июля 2017 г., 16 июля 2017 г. в 19^h17^m, вблизи его эпицентра было зарегистрировано землетрясение с $K_p=9.5$ (Приложение 2), которое является, вероятно, его форшоком.

Восточная часть Украинского щита относится к промышленным районам Украины, где для добычи полезных ископаемых часто производятся взрывы различной мощности. Большая часть крупных промышленных взрывов, зарегистрированных удаленными сейсмическими станциями, попадает в каталоги землетрясений ISC, что может привести к ошибочным представлениям о реальной сейсмической опасности данной территории. Так, проведенный в работе [11] анализ сейсмических событий этой зоны за пятнадцатилетний период позволил отнести к тектоническим землетрясениям только одно событие – 21.05.2001 года. В дальнейшем здесь было зарегистрировано несколько землетрясений умеренной магнитуды.

В ряде публикаций отмечается, что район Криворожских землетрясений – это сложно построенная Ингулецко-Криворожская шовная зона, в которой отмечено резкое увеличение мощности земной коры (от 38 км до 53 км) и ступенеобразное погружение всех отражающих сейсмических горизонтов [12, 13]. Это внутриплатформенная геодинамически активная структура, которая рассматривается не только как разделяющая Украинский щит на восточную и западную части, но и как структура, играющую важную роль в развитии Восточно-Европейской платформы [14]. По мнению В.Б. Сологуба, Криворожско-Кременчугская зона разломов представляет собой «гигантский глубинный сдвиг», или «правый латеральный сдвиг с амплитудой до нескольких десятков км» [15].

Согласно [16], «возникновение землетрясений и увеличение со временем их магнитуды рассматривается как следствие изменения напряженного состояния верхней части земной коры в одном из районов Криворожско-Кременчугской зоны разломов, связанное с проведением в шахтах Криворожского железорудного бассейна мощных взрывов (эквивалент до 125 т массы ВВ) на глубине 1200–1300 м». Известно, что перед землетрясениями 14.01.2010 г. и 29.07.2017 г. в шахтах «Ленина» (в первом случае) и «Юбилейная» (во втором случае) производились взрывные работы на указанных глубинах [16].

Групповой механизм Криворожских землетрясений. Ранее по двум землетрясениям 25.12.2007 г. и 23.06.2013 г. были построены механизмы очагов по знакам первого движения в Р-волне, которые показали преобладающий сдвиговый тип механизма (взбросо-сдвиги) [14, 17]. Кроме того, были дополнительно собраны знаки по землетрясениям 14.01.2011 г. и 29.07.2017 года. Большая часть знаков первого вступления в Р-волне была получена из бюллетеней Международного центра ISC. Установлено, что значительная часть станций, повторяющихся в наборах для разных землетрясений, записывала колебания одного и того же знака для разных землетрясений. Лишь некоторые знаки различались, но эти станции находились в зоне, где сосредоточились и плюсы, и минусы в общем наборе. Эту небольшую зону ($A_z=200\div 290^\circ$) отнесли к неуверенной, однако это не помешало построить статистически устойчивое решение, так как три квадранта – первый, второй и последний – были уверенно обеспечены знаками (рис. 2). Такое объединение данных позволило улучшить окружение эпицентра станциями и построить обобщенный групповой механизм очага для всех Криворожских землетрясений по 86 знакам в Р-волне (43 «+», 43 «-») (табл. 2). Тип движения по плоскости NP1 – правосторонний сдвиг, по NP2 – левосторонний взбросо-сдвиг. Такой тип хорошо согласуется с представлениями о геодинамике в этом районе.

Таблица 2. Параметры механизмов очагов Криворожских землетрясений

Дата, д м	t_0 , ч мин с	h , км	Магнитуды		K_p	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Источник
			M_w	$M_{расч}^*$		T		N		P		NP1			NP2			
						PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP	
25.12.2007	04 09 34.8	10	3.7	3.2	9.7	52	183	38	12	5	279	219	60	135	336	52	39	[17]
23.06.2013	21 16 33.36	10		4.2	11.6	44	278	39	135	20	28	327	75	131	74	43	22	[14]
Групповой механизм	–	–	–	–	–	36	88	53	252	8	352	123	59	158	225	71	33	

Примечание. $*M_{расч}=(K_p-4)/1.8$

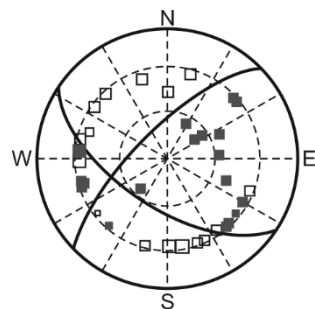


Рис. 2. Диаграмма в нижней полусфере группового механизма очага для Криворожских землетрясений 2007–2017 гг.: черными квадратами показаны знаки «+», белыми – знаки «-»

Спектральный дискриминант. В качестве дополнительного источника информации о признаках, говорящих о возможной природе события, проведен анализ спектральных отношений амплитуд Pg- и Lg-волн на записях сейсмической микрогруппы «Малин» (AKASG), расположенной на расстоянии ~400 км к западу от района Криворожских землетрясений. Записи этой группы, входящей в международную сеть МСМ, организованную организацией ДВЗЯИ, предоставляются международным центром IDC (Вена, Австрия) через запросы с сайта этого центра.

Для получения эталонных значений спектрального дискриминанта были выбраны записи трех землетрясений (25.12.2007 г., 14.01.2010 г. и 23.06.2013 г.) и трех взрывов в шахтах Кривого Рога [16, 18]: 18.09.2010 г. (шахта «им. Орджоникидзе», глубина 447–527 м, эквивалент заряда 125 т ВВ¹), 31.03.2012 г. (шахта «Гвардейская», глубина 1200–1300 м, эквивалент заряда 46 т ВВ), 17.06.2012 г. (шахта «им. Ленина», глубина 1200–1300 м, эквивалент заряда 27 т ВВ).

Отмечено, что графики логарифма спектральных отношений трех вышеуказанных землетрясений подобны с точностью до разброса значений не более чем на ± 0.25 единиц $\text{Log}_{10}(A_{Pg}/A_{Lg})$.

¹ ВВ – взрывчатое вещество

Это позволило построить осредненный график для землетрясений и рассчитать стандартные отклонения от средней линии, которые показаны на рис. 3 совместно с осредненным графиком логарифма спектральных отношений трех вышеуказанных взрывов в шахтах Кривого Рога [18].

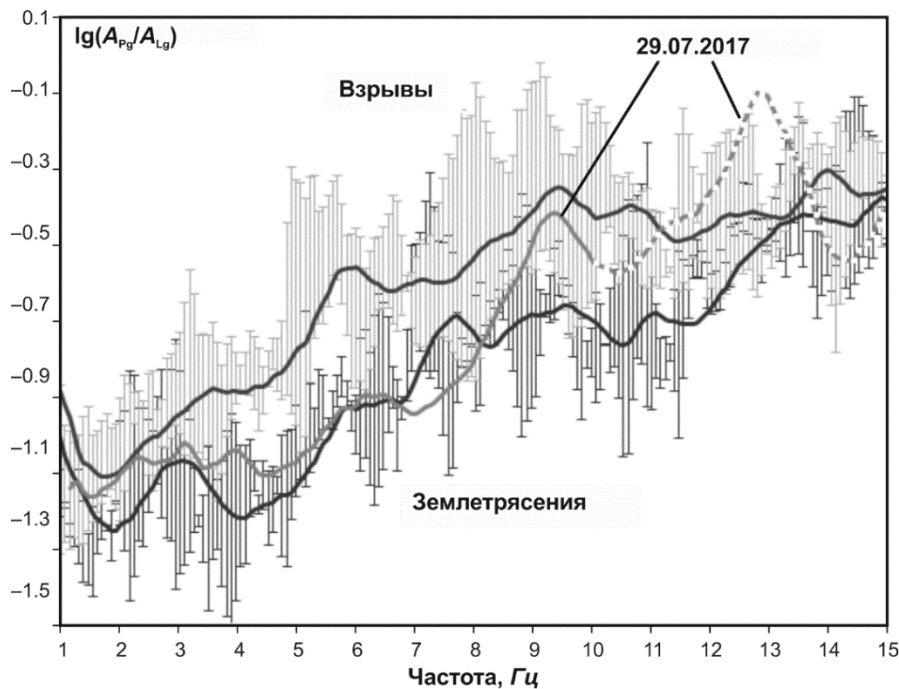


Рис. 3. Сглаженные кривые значений логарифма спектральных отношений амплитуд волн A_{Pg}/A_{Lg} по трехкомпонентным записям ($\Delta t=10$ с) центрального пункта станции «Малин» (AKASG) (черные линии) для трех взрывов в Кривом Роге и трех Криворожских землетрясений с наложением кривой, полученной для 29.07.2017 г. Вертикальными серыми линиями показаны отклонения от среднего значения в дискретных точках кривых

Особенности поведения значений $\text{Log}_{10}(A_{Pg}/A_{Lg})$ для взрывов и землетрясений, произошедших в Кривом Роге и записанных центральным элементом сейсмической группы «Малин»:

- практически для всех событий спектральная амплитуда Lg -волны преобладает над спектральной амплитудой Pg -волны в широком частотном диапазоне (1–18 Гц), о чем говорит область отрицательных значений $\text{Log}_{10}(A_{Pg}/A_{Lg})$;
- для трех эталонных землетрясений минимальные значения $\text{Log}_{10}(A_{Pg}/A_{Lg})$ получены в полосе частот 1–7 Гц;
- кривые $\text{Log}_{10}(A_{Pg}/A_{Lg})$ для взрывов практически во всем диапазоне частот лежат выше кривой землетрясений примерно на 0.5 единицы.

Трехкомпонентный анализ спектрального дискриминанта A_{Pg}/A_{Lg} для взрывов и землетрясений в Кривом Роге и наложение на эталонные кривые взрывов и землетрясений подтвердил, что событие 29.07.2017 г. по поведению спектральной кривой в полосе 3–8 Гц может быть интерпретировано как землетрясение, возможно индуцированное взрывами в шахте «Юбилейная».

Макросейсмические сведения. Сильнейшие Криворожские землетрясения 25.12.2007 г., 14.01.2011 г., 23.06.2013 г. и 29.07.2017 г. ощущались в Кривом Роге с интенсивностью не менее 5 или 4–5 баллов по шкале MSK-64 [19]. Для первого и второго из названных событий было проведено макросейсмическое обследование с выездом на места сотрудников отдела Сейсмологии Института геофизики НАН Украины (Симферополь) [11, 20]. Два последующих землетрясения также ощущались не менее 4–5 баллов в эпицентре, судя по широко распространенным в Интернете сведениям, содержащим описания реакции людей. К сожалению, полного обследования эпицентральной зоны землетрясений не было проведено. 23.06.2013 г. жители сразу четырех районов Кривого Рога почувствовали сильные подземные толчки – шаталась и сдвигалась мебель, пол уходил из-под ног, многих охватил сильный страх.

Примерно так же ощущалось исследуемое землетрясение 29 июля 2017 года. В Кривом Роге чувствовались толчки в микрорайонах города: Заречный, Сурикова, 44 квартал, Горняцкий,

Юбилейный, Карачун, на ж/д станции Роковатая, на прудах. Некоторые горожане утверждали, что перед тем, как начало трясти дома, был слышен взрыв. По сообщению агентства «0564.ua», причиной толчков могли быть взрывные работы на шахте «Юбилейная».

В пределах западного борта *Среднерусского авлакогена*, его Сухонской ветви (Солигаличского грабена), зарегистрировано землетрясение 23 июня 2016 г. в 01^h30^m с $K_p=10.0$, $ML=3.4$ по данным центра (IGKR) [21], а также 20 июня 2017 г. землетрясение с $K_p=7.7$, $ML=2.1$ вблизи северо-восточного окончания *Среднерусского авлакогена* (Котласского грабена) и Волго-Уральской антеклизы (рис. 1). В Кировско-Кажимском (Вятском) авлакогене реализовались два землетрясения: 6 апреля 2016 г. в 19^h09^m с $ML=2.6$ [22] и 22 декабря 2016 г. в 17^h11^m с $ML=2.9$ (рис. 1, Приложение 2, 7) [23].

25 землетрясений в 2016 г. и 12 в 2017 г. с $1.0 \leq ML \leq 2.3$ зарегистрировано по данным сети КОГСР в Мурманской области, вблизи Кандалакшского залива, в пограничных районах с Финляндией и Норвегией (Приложение 5). Часть из них была также зарегистрирована станциями сейсмической сети PTRZR (Приложение 9). Положение эпицентров показано на рис. 1.

Сейсмичность северо-запада Балтийского щита представлена 38 землетрясениями (Приложение 6). Из них 19 событий можно отнести к микросейсмичности, так как они имели $ML \leq 1.0$. Большая их часть зарегистрирована в Ленинградской области в виде роя «Эркиля», возникшего в декабре 2016 г. в районе одноименного карьера на территории Карельского перешейка [24]. Для самого сильного события роя, произошедшего 18 декабря 2016 г. в 00^h20^m с $ML \leq 2.1$, получено решение механизма очага с использованием первых вступлений *P*-волн четырёх станций Санкт-Петербургской сети, а также финских и эстонских станций. Полученное решение свидетельствует о взбросо-сдвиговой подвижке по крутой ($DP=75^\circ$) плоскости разрыва северо-западного простирания ($STK=308^\circ$), вторая плоскость *NP2* юго-западного простирания представлена правосторонним сдвигом со взбросовой компонентой ($STK=202$) (рис. 1, Приложение 3). Судя по сходству волновых форм и полярности первых вступлений, механизмы всех землетрясений роя схожи, а геодинамика области определяется преобладающим напряжением сжатия северо-западного направления и субмеридиональным близвертикальным растяжением (рис. 1).

Как было показано в [24], с геологической точки зрения характерной особенностью области проявления роя является присутствие здесь восточного борта Выборгской интрузии гранитов рапакиви верхнепротерозойского возраста, представляющей собой мощное плитообразное тело, протяженностью с севера на юг 180 км, с запада на восток – от 60 до 130 км. Структура разбита многочисленными субпараллельными тектоническими нарушениями, в основном, северо-западного простирания. В некоторых местах имеются разломы и жильные образования ортогональной северо-западной ориентации как пегматито-аплитового, так и чисто кварцевого состава. Предположительно выявленные области сейсмической активности приурочены к локальным тектоническим узлам.

На Воронежском кристаллическом массиве наблюдалась слабая сейсмичность, зарегистрировано десять слабых землетрясений с $ML \leq 2.5$.

Кроме тектонических и техногенно-тектонических событий, на территории ВЕП в 2016–2017 гг., как и в предыдущие годы, регистрировались многочисленные техногенные события взрывного характера на карьерах, разрабатываемых в процессе добычи полезных ископаемых. Информация о них опубликована в [25, 26].

Заключение. Сейсмичность на территории Восточно-Европейской платформы, как и в предыдущие годы, в 2016–2017 гг. проявлялась в основном в периферийных зонах: на Балтийском и Украинском щитах, в Воронежском кристаллическом массиве, а также в древних авлакогенах на северо-востоке платформы.

Большинство этих районов испытывают значительную техногенную нагрузку, что влияет на напряженно-тектоническое состояние территорий и позволяет относить зарегистрированные землетрясения к индуцированной или триггерной сейсмичности. К таким районам относится Криворожье, где 29 июля 2017 г. зарегистрировано землетрясение с $ML=3.8$, ощущавшееся в г. Кривой Рог до 4–5 баллов по шкале MSK-64.

Отмеченная в 2015 г. особенность локализации слабой и умеренной сейсмичности на ВЕП в зонах палеорифтовых структур в 2016–2017 гг. подтвердилась в районе Кировско-Кажимского авлакогена землетрясением 22 декабря 2016 года.

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

В подготовке электронных приложений к данной статье принимали участие: Е.В. Артёмова, Е.А. Бабкова, Л.И. Бакунович, С.В. Баранов, Н.В. Ваганова, И.П. Габсатарова, И.А. Зуева, О.В. Карпинская, В.В. Карпинский, И.С. Ковалева, Я.В. Конечная, А.А. Лебедев, В.А. Мещерякова, А.Н. Морозов, Л.М. Мунирова, Л.И. Надежка, Л.П. Нахшина, Н.Н. Носкова, С.И. Петров, С.П. Пивоваров, С.Г. Пойгина, Б.А. Ассиновская.

Электронное приложение App14a_VEP_2016–2017 (<http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>): 1 – Сейсмические станции, участвующие в определении параметров гипоцентров землетрясений на территории ВЕП в 2016–2017 гг.; 2 – Сводный каталог землетрясений территории Восточно-Европейской платформы и ее ближайшего окружения в 2016–2017 гг.; 3 – Каталог механизмов очагов землетрясений ВЕП за 2016–2017 гг.; 4 – Каталог землетрясений на территории Воронежского кристаллического массива за 2016–2017 гг. (код сети VMGSR); 5 – Каталог землетрясений на территории «Восточная часть Балтийского щита» за 2016–2017 гг. (код сети KOGSR); 6 – Каталог землетрясений Северо-Запада России (OBGSR (PUL)) за 2016–2017 гг.; 7 – Каталог землетрясений территории Республики Коми и сопредельных территорий за 2016–2017 гг. (код сети IGKR); 8 – Каталог землетрясений ВЕП за 2016–2017 гг., параметры которых уточнены в ИОЦ в Обнинске (код сети OBGSR); 9 – Каталог землетрясений на территории Белого моря и Архангельской области за 2016–2017 гг. (коды сетей FCIAR); 10 – Каталог землетрясений на территории Карелии за 2017 г. (код сети PTRZ, KOGSR).

Л и т е р а т у р а

1. Габсатарова И.П., Ассиновская Б.А., Баранов С.В., Карпинский В.В., Конечная Я.В., Мунирова Л.М., Надежка 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 (2015 г.). – С. 182–191. doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.17
2. Взрывы и землетрясения на территории Европейской части России. Глава 4. Региональные сейсмические наблюдения взрывов и землетрясений. Глава 5. Методика определения интенсивности и природы сейсмических событий / Под ред. В.В. Адушкина, А.А. Маловичко. – М.: ГЕОС, 2013. – С. 140–341.
3. Richards P.G., Kim W.Y. Analysis of digital seismograms from nuclear explosions across forty years // Вестник НЯЦ РК. – 2008. – Т. 2. – С. 21–26.
4. Красилов С.А., Коломиец М.В., Акимов А.П. Организация процесса обработки цифровых сейсмических данных с использованием программного комплекса WSG // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Первой Международной сейсмологической школы, посвященной 100-летию открытия сейсмических станций «Пулково» и «Екатеринбург». Петергоф, 2–6 октября 2006 г. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 77–83.
5. Coyne J., Clark K., Lloyd S. IDC Documentations Geotool Software User Tutorial. – 16 July 2003. – 59 p.
6. Гарецкий Р.Г. Особенности тектоники и геодинамики Восточно-Европейской платформы // Литосфера. – 2007. – № 2. – С. 3–13.
7. Габсатарова И.П., Ассиновская Б.А., Баранов С.В., Карпинский В.В., Мехрюшев Д.Ю., Мунирова Л.М., Надежка Л.И., Петров С.И., Пивоваров С.П., Санина И.А. Восточно-Европейская платформа. Российская часть // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 199–207. doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.19
8. International Seismological Centre. (2022). ISC dataset. <https://doi.org/10.31905/PY08W6S3>
9. Сейсмологический бюллетень Института сейсмологии и геодинамики Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Электронный вариант.
10. Bratt S.R., Bache T.C. Locating events with a space network of regional arrays // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1988. – V. 78. – P. 780–798.
11. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Пустовитенко А.А., Скляр А.М. Инструментальные и макросейсмические данные о процессах в очаговой зоне Криворожского землетрясения 25 декабря 2007 г. // Геофизический журнал. – 2010. – Т. 32, № 2. – С. 75–97.
12. Кушнир А.Н., Кулик С.Н., Бурахович Т.К. Сейсмичность платформенных регионов Украины в областях аномалий электропроводности // Физика Земли. – 2013. – № 3. – С. 95–104.
13. Щербина С.В., Пигулевский П.И., Гурова И.Ю., Калининченко О.А. Регистрация и анализ техногенных и природных сейсмических событий в г. Кривой Рог // GEOINFORMATIKA. – 2013. – № 4 (48). – С. 74–84.

14. Габсатарова И.П., Кендзера А.В., Надежка Л.И., Пигулевский П.И., Бабкова Е.А., Коломиец М.В., Пивоваров С.П. Новое сейсмическое событие в Криворожье и механизм его очага // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2013. – № 2. – С. 134–140.
15. Соллогуб В.Б. Литосфера Украины. – Киев: Наукова Думка, 1986. – 183 с.
16. Кутас В.В., Андриященко Ю.А., Калитова И.А. Промышленные взрывы и сейсмичность Украинского щита // Геофизический журнал. – 2014. – Т. 36, № 6. – С. 165–172.
17. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Пустовитенко А.А., Скляр А.М. Криворожское землетрясение 25 декабря 2007 г. с $K_p=9.7$, $MLH=3.1$, $M_w=3.3$, $I_0=5$ (Украина, Днепропетровская обл.) // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 435–447.
18. Кутас В.В., Андриященко Ю.А., Омельченко В.Д. Глубинное строение земной коры в районе Криворожской структуры по геолого-геофизическим данным и влияние техногенного фактора на проявление локальной сейсмичности // Геофизический журнал. – 2013. – Т. 35, № 3. – С. 156–165.
19. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
20. Скляр А.М., Князева В.С. Макросейсмические данные Криворожского землетрясения 14 января 2011 г. // Сейсмологический бюллетень Украины за 2011 год. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2012. – С. 59–61.
21. Носкова Н.Н. Землетрясение 23 июня 2016 г. в пределах Московской синеклизы // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Девятые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Материалы конференции. – Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2017. – С. 306–309.
22. Носкова Н.Н. Землетрясение 6 апреля 2016 года в Кировской области // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XI Международной сейсмологической школы / Отв. редактор А.А. Маловичко. – Обнинск: ГС РАН, 2016. – С. 236–238.
23. Носкова Н.Н. Землетрясение 22 декабря 2016 года в Кировской области // Результаты комплексного изучения сильнейшего Алтайского (Чуйского) землетрясения 2003 г., его место в ряду важнейших сейсмических событий XXI века на территории России. – 2018. – С. 269–272.
24. Ассиновская Б.А. Габсатарова И.П., Панас Н.М., Юски М. Сейсмические события 2014–2016 гг. на Карельском перешейке и их природа // Сейсмические приборы. – 2018. – Т. 54, № 1. – С. 40–61.
25. Part V-2016. Catalogs__explosions_2016.xls // Землетрясения России в 2016 году. – Обнинск: ГС РАН, 2018. – Приложение на CD-ROM.
26. Part V-2017. Catalogs__explosions_2017.xls // Землетрясения России в 2017 году. – Обнинск: ГС РАН, 2019. – Приложение на CD-ROM.

**SEISMICITY of the RUSSIAN PART of EAST EUROPEAN PLATFORM
and ADJACENT TERRITORIES in 2016–2017**

**I.P. Gabsatarova¹, B.A. Assinovskaya¹, S.V. Baranov², V.V. Karpinsky¹, Ya.V. Konechnaya^{3,4},
L.M. Munirova¹, L.I. Nadezhka¹, N.N. Noskova⁵, S.I. Petrov², S.P. Pivovarov¹, I.A. Sanina⁶**

¹Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Obninsk, Russia, ira@gstras.ru;

²Kola Branch of the Russian Academy of Sciences, Apatity; Russia;

³N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of RAS, Arkhangelsk, Russia;

⁴Geophysical Survey of RAS Arkhangelsk, Russia;

⁵Institute of Geology of Komi Science

Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar;

⁶Institute of Dynamics of Geospheres of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. Seismic observations by 46 stationary seismic stations, including seven temporary seismic stations located in the area of Novovoronezh and Kursk nuclear power plants, and by two arrays were carried out on the Russian territory of the East European Platform. A feature of seismicity in 2016–2017 is a manifestation of swarms of weak earthquakes in the northwest in the Leningrad region and the adjacent territory of Finland, as well as earthquakes on the Ukrainian Shield with M_s (est.)=3.8 in Krivoy Rog, where mass explosions are carried out in mines, but earthquakes of moderate magnitude $ML=2.6–3.9$ also occur (2007, 2013). Weak earthquakes in the peripheral parts (in the southwest, west and northwest) and in zones associated with paleorift structures: in the northeast – with the Kirov-Kazhim and Central Russian aulacogenes continue to be recorded. Weaker natural seismicity with $ML \leq 2.5$ was recorded in Karelia and the regions bordering Finland, near the Kandalaksha Bay, near the Khibiny and Lovozero massifs on the Kola Peninsula and in the territory of the Voronezh crystalline massif.

Keywords: earthquake, weak seismicity, technogenic seismicity, Baltic shield, Ukrainian shield, Kirov-Kazhim aulacogen, fault plane solution.

DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.17 **EDN:** APIGYQ

For citation: Gabsatarova, I.P., Assinovskaya, B.A., Baranov, S.V., Karpinsky, V.V., Konechnaya Ya.V., Munirova, L.M., Nadezhka, L.I., Noskova, N.N., Petrov, S.I., Pivovarov, S.P., & Sanina, I.A. (2022). [Seismicity of the Russian part of East European platform and adjacent territories in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017), 196–205. (In Russ.). DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.17. EDN: APIGYQ

References

- Gabsatarova, I.P., Assinovskaya, B.A., Baranov, S.V., Karpinsky, V.V., Mekhryushev, D.Yu., Munirova, L.M., Nadezhka, L.I., Nikulin, V.G., Noskova, N.N., Petrov, S.I., Pivovarov, S.P., & Sanina, I.A. (2021). [Seismicity of the Russian part of East European platform and adjacent territories in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 182–191. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.17
- Adushkin, V.V., & Malovichko, A.A. (2013). *Vzryvy i zemletryaseniya na territorii Yevropeyskoy chasti Rossii* [Explosions and earthquakes in the European part of Russia]. Moscow, Russia: GEOS, 381 p. (In Russ.).
- Richards, P.G., & Kim, W.Y. (2008). [Analysis of digital seismograms from nuclear explosions across forty years]. *Vestnik NIATs RK* [NNC RK Bulletin], 2, 21–26.
- Krasilov, S.A., Kolomiets, M.V., & Akimov, A.P. (2006). [Modern methods of processing and interpretation of seismological data]. In *Materialy Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly «Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh»* [Proceedings of the International Seismological Workshop «Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data»] (pp. 77–83). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Coyne, J., Clark, K., & Lloyd, S. (2003). IDC Documentations Geotool Software User Tutorial, 16 July 2003, 59 p.
- Garetsky, R.G. (2007). [Peculiarities of tectonics and geodynamics of the East European platform]. *Litosfera* [Lithosphere], 2, 3–13. (In Russ.).
- Gabsatarova, I.P., Assinovskaya, B.A., Baranov, S.V., Karpinsky, V.V., Mekhryushev, D.Yu., Munirova, L.M., Nadezhka, L.I., Petrov, S.I., Pivovarov, S.P., & Sanina, I.A. (2020). [East European Platform. Russian part]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes of Northern Eurasia], 23(2014), 199–207. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.19
- International Seismological Centre. (2022). ISC dataset. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/PY08W6S3>
- Seismological Bulletin of the Institute of Seismology and Geodynamics of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky. Electronic variant. (In Russ.).
- Bratt, S.R., & Bache, T.C. (1988). Locating events with a space network of regional arrays. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 78, 780–798.
- Pustovitenko, B.G., Kulchitsky, V.E., Pustovitenko, A.A., & Sklyar, A.M. (2010). [Instrumental and macroseismic data on processes in the source zone of the Krivoy Rog earthquake on December 25, 2007]. *Geofizicheskiy zhurnal* [Geophysical Journal], 32(2), 75–97. (In Russ.).
- Kushnir, A.N., Kulik, S.N., & Burakhovich, T.K. (2013). Seismicity in the platform regions of Ukraine in the zones of anomalous electrical conductivity. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, 49(3), 392–401. doi: 10.7868/S0002333713030083
- Shcherbina, S.V., Pigulevskij, P.I., Gurova, I.Yu., & Kalinichenko, O.A. (2013). [Registration and analysis of natural and man-made seismic events in Krivoy Rog]. *Geoinformatika*, 4(48), 74–84.
- Gabsatarova, I.P., Kendzera, A.V., Nadezhka, L.I., Pigulevsky, P.I., Babkova, E.A., Kolomiets, M.V., & Pivovarov, S.P. (2013). [New seismic event in Krivoy Rog and its source mechanism]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya* [Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geology], 2, 134–140. (In Russ.).
- Sollogub, V.B. (1986). *Litosfera Ukrainy* [Lithosphere of Ukraine]. Kiev, Ukraine: Naukova Dumka Publ., 184 p. (In Russ.).
- Kutas, V.V., Andryushchenko, Yu.A., & Kalitova, I.A. (2014). [Industrial explosions and seismicity of the Ukrainian Shield]. *Geofizicheskiy zhurnal* [Geophysical Journal], 36(6), 165–172. (In Russ.).

17. Pustovitenko, B.G., Kul'tchizkiy, V.E., Pustovitenko, A.A., & Sklyar, A.M. (2013). [Krivorozhsk earthquake on Dezember 25th 2007 with $K_p=9.7$, $MLH=3.1$, $M_w=3.7$, $I_0=5$ (Ukraine, Dnepropetrovsk district)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2007 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2007] (pp. 435–447). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
18. Kutas, V.V., Andryushchenko, Yu.A., & Omelchenko, V.D. (2013). [Deep structure of the Earth's crust in the region of the Krivoy Rog structure according to geological and geophysical data and the influence of the technogenic factor on the manifestation of local seismicity]. *Geofizicheskiy zhurnal* [Geophysical Journal], 35(3), 156–165. (In Russ.).
19. Medvedev, S.V., Shponhoyer, V., & Karnik, V. (1965). *Mezhdunarodnaia shkala seysmicheskoy intensivnosti MSK-64* [MSK-64 International seismic intensity scale]. Moscow, Russia: MGK Academy of Sciences USSR Publ., 11 p. (In Russ.).
20. Sklyar, A.M., & Knyazeva, V.S. (2012). [Macroseismic data of the Krivoy Rog earthquake on January 14, 2011]. In *Seismologicheskii byulleten' Ukrainy za 2011 god* [Seismological Bulletin of Ukraine for 2011] (pp. 59–61). Sevastopol, Ukraine: SPC «ECOSY-Hydrophysics» Publ. (In Russ.).
21. Noskova, N.N. (2017). [The earthquake on June 23, 2016 within the Moscow syncline]. In *Glubinnoe stroenie, geodinamika, teplovoe pole Zemli, interpretatsiya geofizicheskikh polej. Devyatye nauchnye chteniya pamyati Yu.P. Bulashevicha* [Deep structure, geodynamics, thermal field of the Earth, interpretation of geophysical fields. The 9th scientific readings in memory of Yu.P. Bulashevich] (pp. 306–309). Ekaterinburg, Russia: IGF UrO RAN Publ. (In Russ.).
22. Noskova, N.N. (2016). [The earthquake of April 6, 2016 in Kirov oblast]. In *Materialy XI Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly «Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh»* [Proceedings of the XI International Seismological Workshop «Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data»] (pp. 236–238). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
23. Noskova, N.N. (2018). [The earthquake on December 22, 2016 in the Kirov region]. *Rezultaty kompleksnogo izucheniya sil'neyshego Altayskogo (Chuyskogo) zemletryaseniya 2003 g., yego mesto v ryadu vazhneyshikh seysmicheskikh sobytii XXI veka na territorii Rossii* [Results of a comprehensive study of the strongest Altai (Chuya) earthquake of 2003, its place among the most important seismic events of the 21st century in Russia], 269–272. (In Russ.).
24. Assinovskaya, B.A., Gabsatarova, I.P., Panas, N.M., & Uski, M. (2019). Seismic events in 2014–2016 around the Karelian Isthmus and their nature. *Seismic Instruments*, 55(1), 24–40.
25. [Catalogs__explosions_2016]. (2018). In *Zemletriaseniia Rossii v 2016 godu* [Earthquakes in Russia in 2016]. Obninsk, Russia: GS RAS Publ. Appendix on CD-ROM. (In Russ.).
26. [Catalogs__explosions_2017]. (2019). In *Zemletriaseniia Rossii v 2017 godu* [Earthquakes in Russia in 2017]. Obninsk, Russia: GS RAS Publ. Appendix on CD-ROM. (In Russ.).