

ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКАЯ ПЛАТФОРМА:

УДК 550.34.034, 550.348. (436, 425)

СЕЙСМИЧНОСТЬ РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

и БЛИЖНЕГО ОКРУЖЕНИЯ в 2015 г.

И.П. Габсатарова¹, Б.А. Ассиновская¹, С.В. Баранов², В.В. Карпинский¹, Я.В. Конечная^{3,4},
Л.М. Мунирова¹, Л.И. Надёжка¹, В.Г. Никулин⁵, Н.Н. Носкова⁶, С.И. Петров²,
С.П. Пивоваров¹, И.А. Санина⁷

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, ira@gsras.ru;

²Кольский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты;

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

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

⁵Латвийский центр среды, геологии и метеорологии, г. Рига;

⁶ИГ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар;

⁷Институт динамики геосфер РАН, г. Москва

Аннотация. Сообщается, что на российской территории Восточно-Европейской платформы проводились сейсмические наблюдения 41 стационарной сейсмической станцией, двумя мини-группами и семью полевыми сейсмическими станциями, расположенными в районе двух атомных станций: Нововоронежской и Курской. Оценена чувствительность сети станций на ВЕП в целом исходя из среднего уровня шумов на станциях и уравнения затухания энергии сейсмических фаз. Выделены зоны, обладающие наибольшей чувствительностью. Особенностью сейсмичности в 2015 г. является проявление землетрясений умеренных магнитуд ($M_L=2.7-3.9$) в периферийных районах (на юго-западе, западе и северо-западе) и в зонах, связанных с палеорифтовыми структурами: на юго-западе – с Днепровско-Донецким и на северо-востоке – с Кировско-Кажимским и Солигаличским (Среднерусским) авлакогенами. По землетрясению в Полтаве приводятся результаты макросейсмического обследования, по двум землетрясениям (03.02.2015 г. и 12.06.2015 г.) построены механизмы очагов. По данным Латвийского центра зафиксировано землетрясение в приграничном к Калининградской области районе Литвы. Более слабая природная сейсмичность с $M_L \leq 2.5$ зафиксирована в Карелии и приграничных с Финляндией районах, вблизи Кандалакшского залива, вблизи Хибинского и Ловозерского массивов на Кольском п-ове и на территории Воронежского кристаллического массива.

Ключевые слова: слабая сейсмичность, техногенная сейсмичность, Днепровско-Донецкий авлакоген, Кировско-Кажимский авлакоген, сдвиговый механизм очага.

DOI: 10.35540/1818-6254.2021.24.17

Для цитирования: 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 (2015 г.). – С. 182–191 doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.17

Введение. В 2015 г. продолжался мониторинг сейсмичности в слабоактивных районах Восточно-Европейской платформы (ВЕП) в границах, определенных форматом настоящего ежегодника. Изучение слабых землетрясений, доступных обнаружению и регистрации лишь с помощью сейсмографов, имеет важное значение, т.к. такую сейсмичность в дополнение к известным в основном по историческим данным сильным землетрясениям можно использовать для проведения детального сейсмического районирования, т.е. степени сейсмической опасности для отдельных территорий при строительстве различных народнохозяйственных объектов. В 2015 г. в обзор включены данные о землетрясении вблизи границы Калининградской области России с Литвой по данным Латвийского центра среды, геологии и метеорологии.

Сеть сейсмических станций и ее развитие в 2015 г. Значительных изменений в наблюдательной сети относительно 2014 г. не произошло [1], кроме открытия в ноябре новой станции «Полуостров Рыбачий» в сети Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН.

Общая конфигурация сети с изолиниями представительных магнитуд, оцененных по уровню микросейсмического шума на станциях сети и с использованием методики и программы SArga [2], показана на рис. 1. Таблица с параметрами станций приводится в [3]. В отличие от 2014 г., в регистрации слабой сейсмичности на территории ВЕП в 2015 г. принимали участие станции сети Архангельского центра и сеть станций Уральского региона [4].

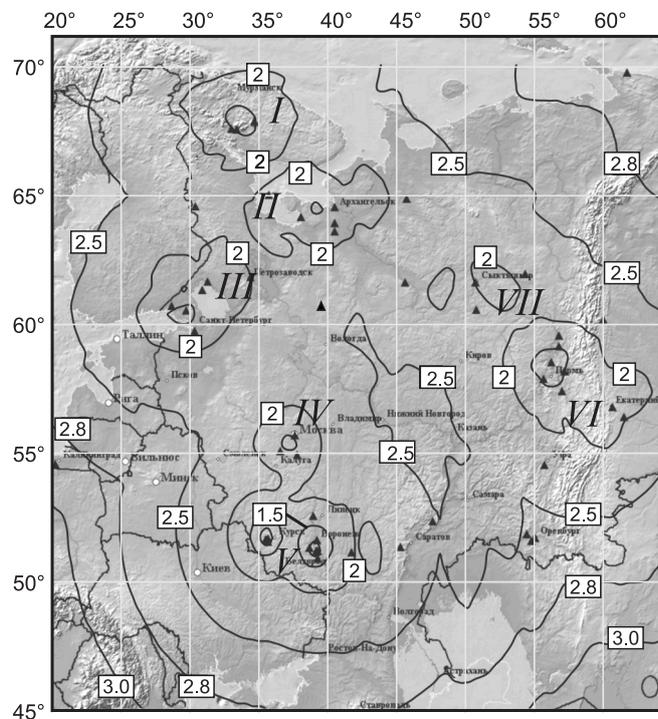


Рис. 1. Оценка чувствительности сети сейсмических станций в значениях минимальных локальных магнитуд ML на территории Восточно-Европейской платформы в 2015 г.

Здесь сеть позволяет без пропусков регистрировать землетрясения с $ML \geq 2.5$. Между тем в данной зоне известны землетрясения, в частности, в анализируемом году, и рекомендуется расширение сети в этом районе.

Методика обработки. В центрах сбора и обработки данных в Пулково и Воронеже обработка цифровых записей и локация событий производится программой WSG [5]. Для обработки записей малоапертурных групп Михнево и Апатиты применяется программа EL [6, 7], обработка потока данных происходит в полуавтоматическом режиме, для выделения событий используется алгоритм, основанный на анализе отношения STA/LTA . В центрах Республики Коми (SYKR) и Архангельском (сеть АН) применяется программа NAS [8]. Оценка локальной магнитуды событий ML производится по разным формулам, характеризующим затухание энергии сейсмических фаз в конкретном районе. Расчет локальной магнитуды ML для станций сети KOGSR проводится с использованием законов затухания для региона Баренцева моря, приведенных в [9]. Определялись параметры очагов сейсмических событий. При сводной обработке на станции «Пулково» привлекались данные до 20 цифровых сейсмических станций Финской сети. Для части событий магнитуда ML была взята из бюллетеня «Seismic events in Northern Europe» Института сейсмологии Университета Хельсинки, Финляндия [10], где она рассчитывалась по методике [11]. Подробно методы обработки изложены в монографии «Взрывы и землетрясения на территории Европейской России» [12].

В Латвийском центре среды, геологии и метеорологии для локации и анализа сейсмических событий, включая оценку спектральных и динамических параметров очага (M_0 , SD , f_0 , R), использовался пакет программ SEISAN [13], разработанный в Бергенском университете (Норвегия) с участием Геологической службы Дании и Гренландии. В частности, для локации гипоцентров использовалась программа HYP, усовершенствованная версия HYPINVERSE.

Результаты анализа микросейсмического шума на станциях и использование уравнения затухания энергии сейсмических волн [2] позволили провести оценку чувствительности сети к землетрясениям с $ML \leq 2$ и выделить семь зон с наибольшей чувствительностью, обусловленной развертыванием локальных сетей, входящих в состав общей сети (рис. 1): I – в районе Кольского п-ва, II – Архангельская зона, частично захватывающая Белое море, III – Ленинградская область и южная часть Карелии, IV – центральная часть, включающая Московскую и Калужскую области, V – Воронежский кристаллический массив и прилегающие области, VI – район сочленения восточной части Волго-Уральской антеклизы и Центрального Предуралья, VII – Центральная часть территории Республики Коми. На общем фоне обращает на себя внимание пониженная чувствительность сети в довольно большом районе, охватывающем Владимирскую, Нижегородскую, Вологодскую области и террито-

Механизмы очагов определены для двух землетрясений: по знакам первых вступлений в *P*-волне с использованием программы FA [14] для землетрясения 03.02.2015 г., $K_p=10.7$ и по методике Малицкого Д.В., основанной на инверсии волновых форм и позволяющей построить механизм при ограниченном количестве станций [15, 16] – для землетрясения 12.06.2015 г. с $M_L=2.7$ (рис. 2).

Природная сейсмичность в отдельных районах ВЕП. Особенностью сейсмичности в 2015 г. на территории Восточно-Европейской платформы является проявление землетрясений в периферийных районах (на юго-западе, западе и северо-западе) и в зонах, связанных с палеорифтовыми структурами: на юго-западе – с Днепровско-Донецким и на северо-востоке – с Кировско-Кажимским и Солигаличским (Среднерусским) авлакогенами (рис. 2). Эти районы известны и более ранними проявлениями сейсмичности, включая исторические сведения о землетрясениях, особенно зона Кировско-Кажимского авлакогена [17, 18].

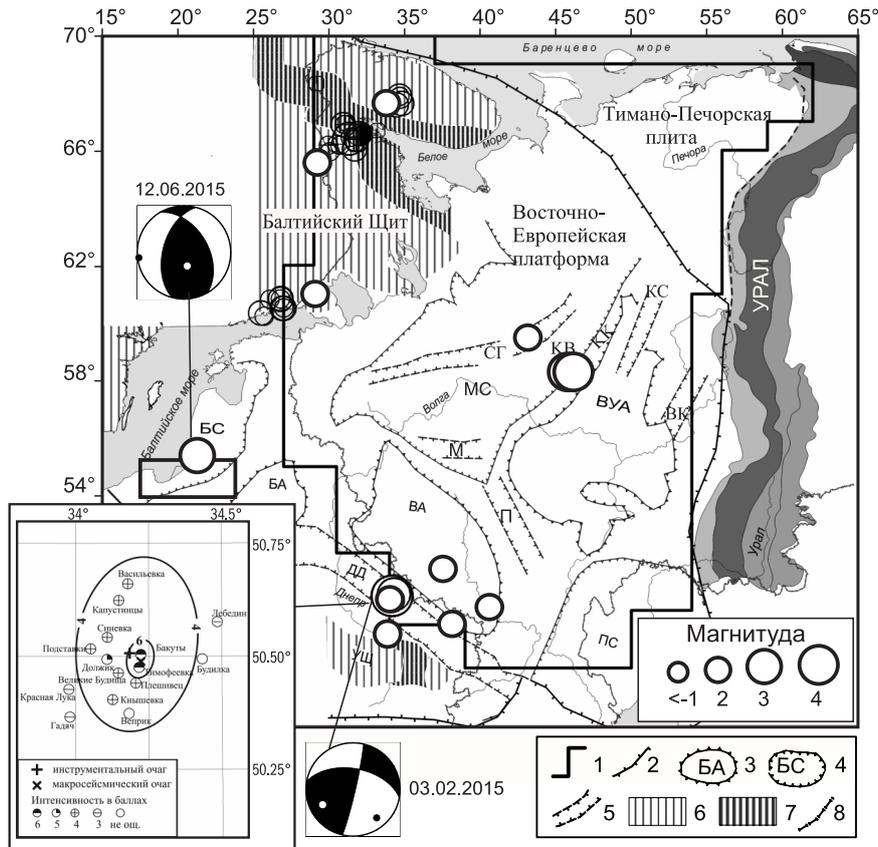


Рис. 2. Сейсмичность и механизмы очагов землетрясений российской части Восточно-Европейской платформы и ее ближайшего окружения на фоне тектонической схемы, построенной Н.В. Петровой [19] по материалам [20].

На врезке: схема изосейст и пунктов ошутимости Полтавского землетрясения 03.02.2015 г.

1 – граница региона; 2 – граница ВЕП; 3 – антиклизы: БА – Белорусская, ВА – Воронежская (Воронежский кристаллический массив), ВУА – Волго-Уральская, КВ – Котельнический выступ; 4 – синеклизы: БС – Балтийская, ПС – Прикаспийская, МС – Московская; 5 – авлакогены: ДД – Днепровско-Донецкий, СГ – Солигаличский (Среднерусский), КК – Кировско-Кажимский, М – Московский, П – Пачелмский, ВК – Верхнекамский, КС – Казанско-Сергиевский; 6 – выходы архейского фундамента (>2500 млн. лет); 7 – выходы карельского фундамента (>1600 млн. лет); 8 – государственная граница.

Самое заметное и ощутимое землетрясение года – Полтавское землетрясение 3 февраля в 05^h56^m с $M_{расч}=3.7$ (3.9 по данным VMGSR) и интенсивностью в эпицентре до 6 баллов – произошло вблизи юго-западной границы региона. Его эпицентр располагался в зоне сочленения двух крупных структурных элементов Восточно-Европейской платформы – северного крыла Днепровско-Донецкого авлакогена (ДДА) и южного склона Воронежского кристаллического массива (ВКМ). Землетрясение произошло в пределах одной из современных геодинамически активных зон, выделяемых на территории Украины, материалы о нем ранее опубликованы

в [21–24]. Воронежской сетью (VMGSR) зарегистрированы афтершок 11 февраля в 19^h22^m с $K_p=7.9$ и еще один толчок в этом же очаге 11 сентября в 06^h42^m с $K_p=9.7$. Ранее в центральной части ДДА, в 15 км от г. Полтавы, зарегистрировано землетрясение 14.05.2010 г. [24, 25]. В совместной работе с Украинскими сейсмологами [23] опубликованы результаты макросейсмического обследования эпицентральной области этого землетрясения. На основании этих материалов на карте-схеме (рис. 3, врезка) показаны пункты-баллы и изолинии, которые были построены в этой работе [23]. Координаты населенных пунктов и баллы приводятся в специальной вкладке к электронному каталогу [26].

Согласно диаграмме механизма очага Полтавского землетрясения, построенной по знакам первого движения в *P*-волне, простирание одной из плоскостей (*NP1*) хорошо согласуется с вытянутостью 4-балльной изосейсты в север–северо-восточном направлении. Тип движения в очаге – по плоскости *NP1* левосторонний сдвиг-взброс, по плоскости *NP2* правосторонний сдвиг со взбросовой компонентой. Исходя из представлений о напряженно-деформированном состоянии Русской платформы [27], локальные тектонические дислокации могут предпочтительно развиваться в виде сдвиговых подвижек по близвертикальным плоскостям близмеридионального и близширотного простирания и в виде надвиговых подвижек по наклонным плоскостям юго-западного–северо-восточного простирания. Учитывая совпадение ориентаций первой изосейсты и плоскости *NP1* Полтавского землетрясения, можно заключить, что действующей плоскостью разрыва в очаге является *NP1* (табл. 1). Известно, что субмеридиональной структурой является трансрегиональный тектонический шов Херсон-Смоленск [28], секущий этот район, и к которому, вероятно, приурочен разрыв.

Таблица 1. Параметры механизма очага Полтавского землетрясения 3.02.2015 г.

Дата, д.м	t_0 , ч мин с	h , км	Магнитуды m_b	K_p	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
					<i>T</i>		<i>N</i>		<i>P</i>		<i>NP1</i>			<i>NP2</i>		
					<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>STK</i>	<i>DP</i>	<i>SLIP</i>	<i>STK</i>	<i>DP</i>	<i>SLIP</i>
03.02	05 56 30.2	3	4.2	10 7	28	243	53	18	22	140	13	86	37	280	53	185

Сетью станций на Воронежском кристаллическом массиве (VMGSR) зарегистрировано землетрясение 30 октября в 00^h24^m с $K_p=7.9$ в приграничном с Украиной районе, в Луганской области (рис. 2). Эпицентр его также приурочен к северной бортовой части ДД авлакогена. По наблюдениям мини-группы Михнево (MHVAR) Института динамики геосфер РАН, 7 августа в 10^h00^m в Полтавской области Украины, на южном борту ДД авлакогена, вблизи Украинского Щита, зарегистрировано сейсмическое событие, предположительно землетрясение с $ML=3.6$ (рис. 2).

В Нижегородской области зарегистрированы два землетрясения, 3 июля в 17^h05^m с $ML=3.8$ и 5 июля в 06^h11^m $ML=3.6$. По магнитуде они близки к Полтавскому землетрясению 03.02.2015 г. с $M_{расч}=3.7$, однако не вызвали макросейсмического эффекта. Их очаги приурочены к западному ограничению Котельнического свода Волго-Уральской антеклизы, к зоне сочленения двух надпорядковых структур – Волго-Уральской антеклизы и Московской синеклизы (рис. 2). Для обеих структур характерны проявления слабой сейсмичности – известны исторические, а также зафиксированные инструментально землетрясения [17, 18]. Одновременно очаги землетрясений 3 и 5 июля можно приурочить к СЗ склону Котельнического выступа, субпараллельного Кировско-Кажимскому авлакогену. В пределах Кировско-Кажимского авлакогена и сопряженных с ним глубинных структур прослежено большое количество исторических и современных землетрясений [18]. Кировско-Кажимский авлакоген протягивается в СВ направлении и разбит вкрест простирания серией глубинных разломов СЗ ориентировки на отдельные блоки. В работе [17] для этого землетрясения проведен сравнительный анализ одного из дискриминантов землетрясений и взрывов (признаков распознавания по логарифму спектрального отношения волн Pg/Lg), в результате которого подтверждено предположение о тектонической природе этого события.

По данным Архангельской сети, совместно с сетью станций в Карелии зарегистрировано землетрясение в Вологодской области 20 марта в 14^h46^m с $ML=2.7$, приуроченное к Среднерусскому (Солигаличскому) авлакогену [29].

Интересное сейсмическое событие зарегистрировано в 20 км от границы Калининградской области 12.06.2015 г. [30, 31] в западной Литве с эпицентром 55.5°N; 21.4°E, в 22 км юго-восточнее Клайпеды. Магнитуда землетрясения $ML=2.6$, глубина гипоцентра оценена в 0.9 км. По программе SEISAN также определены: сейсмический момент $M_0=3.16 \cdot 10^{12}$ Н·м; $M_w=2.3$; напряжение сброса $SD=1.8$ бар; угловая частота $f_0=6.4$ Гц; радиус очага $R=0.2$ км. Землетрясение отнесено к индуцированному типу, причиной которого могли быть мероприятия по гидравлическому стимулированию геологических пород, что позволяет, за счет возникновения дополнительных трещин, увеличивать теплообмен теплоносителя с геологическими породами¹.

Землетрясение 12.06.2015 г. было зарегистрировано восемью станциями сети BAVSEN (*Baltic Virtual Seismic Network*) на эпицентральных расстояниях от 67 до 616 км. Особенностью района этого землетрясения являются следующие факторы: 1) здесь ни в историческое, ни в современное время не происходило тектонических землетрясений; 2) здесь нет промышленных карьеров, в которых могли бы производить взрывные работы; 3) в этом районе расположена сеть тектонических разломов, которые образуют тектонические узлы, примерно в 10 и 17 км от эпицентра; 4) в этом районе происходит добыча нефти и разработка геотермальных ресурсов.

Оценка эллипса ошибок показала, что азимут большой оси эллипса равен $\sim 52^\circ$, длина большой полуоси ~ 22 км, а малой полуоси ~ 8 км. Юго-западная часть эллипса ошибок перекрывает два субмеридиональных разлома, Гаргждайский и второй, безымянный разлом, с условным названием Ланкупийский, которые расположены на расстояниях 8 и 3 км от эпицентра землетрясения. Азимуты простирания разломов – 176° (Ланкупийский) и 192° (Гаргждайский).

Для подтверждения тектонической природы события построен механизм его очага. Решение механизма очага, выполненное по методике Малицкого Д.В., основано на инверсии волновых форм ограниченного количества станций [15, 16] и представлении источника тензором сейсмического момента (ТСМ), определении поля смещений на свободной поверхности для дальней зоны и определении временной функции ТСМ, используя матричные соотношения. Было получено два варианта решения с азимутами простирания 194° и 330° [31]. Это дало основание предположить, что с большей вероятностью очаг землетрясения приурочен к южной части Гаргждайского разлома. Тип механизма очага землетрясения – взброс (надвиг) с правосторонней сдвиговой компонентой (reverse right-lateral with a strike-slip component) (табл. 2).

Таблица 2. Параметры механизма очага землетрясения 12.06.2015 г.

Дата, д.м	t_0 , ч мин с	h , км	Магнитуды		Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
			ML	T		N		P		$NP1$			$NP2$			
				PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$	
12.06	18 18 26.3	0.9	2.6	66	167	24	355	4	83	195	53	121	330	47	56	

В остальных зонах ВЕП наблюдалась слабая сейсмичность с $ML \leq 2.5$ в виде землетрясений восточной части Балтийского щита, где зарегистрировано десять сейсмических событий на приграничной территории Финляндии по данным сети OBGSR («Пулково») ($0.9 \leq ML \leq 2.1$) и десять событий, в Кандалакшском заливе, Мурманской области, Карелии, Хибинском и Ловозерском массивах, – по данным сети KOGSR ($0.9 \leq ML \leq 2.7$).

Кроме тектонических и техногенно-тектонических событий, на территории ВЕП в 2015 г., как и в предыдущие годы, регистрировались многочисленные техногенные события взрывного характера на карьерах, разрабатываемых в процессе добычи полезных ископаемых. Информация о них опубликована в [32].

Заключение.

Уровень развития современной сети сейсмических станций на слабосейсмичной территории Восточно-Европейской платформы позволяет регистрировать довольно слабые сейсмические события, среди которых в 2015 г. наблюдались и заметные землетрясения с $ML \geq 3$. Серия

¹ «Официальные» сведения ряда европейских центров: Геологической службы Эстонии (EST); Университета Упсала (UPP), Швеция; Отдела геологических наук и географии Хельсинского университета (HEL), Финляндия; Геологической службы Дании и Гренландии (DNK), – сообщенные в Международный сейсмологический центр (ISC) присвоили этому событию тип «взрыв» или «предполагаемый взрыв».

землетрясений произошла в юго-западной части платформы, одно из них, 3 февраля 2015 г. с $M_{расч}=3.7$, ощущалось с интенсивностью от 4 до 6 баллов в населенных пунктах Украины. Построенный механизм очага этого землетрясения позволил подтвердить характер локальных тектонических дислокаций в виде сдвиговых подвижек по близвертикальным плоскостям близмеридионального и близширотного простирания, установленный в [27] по исследованию напряженно-деформированного состояния Русской платформы, а его сопоставление с ориентацией первой изосейсты позволило выбрать близмеридиональную плоскость разрыва в очаге в качестве действующей. В 2015 г. удалось выявить некую особенность проявления слабой и умеренной сейсмичности на ВЕП, связанную с зонами палеорифтовых структур: на юго-западе – с Днепровско-Донецким и на северо-востоке – с Кировско-Кажимским и Среднерусским (Солигаличским) авлакогенами.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках темы НИР АААА-А20-120060890034-7 госзадания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

Л и т е р а т у р а

1. Габсатарова И.П., Ассиновская Б.А., Баранов С.В., Карпинский В.В., Мехрюшев Д.Ю., Мунирова Л.М., Надёжка 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: 1818-6254.2020.23.19
2. Дягилев Р.А. Программа расчёта регистрационных возможностей сейсмических сетей и групп, SAra / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020662170 от 09.10.2020 г.
3. Баранов С.В., Габсатарова И.П., Петров С.И., Пойгина С.Г., Карпинский В.В., Пивоваров С.П., Конечная Я.В., Надёжка Л.И., Мещерякова В.А. Сейсмические станции, участвующие в определении параметров гипоцентров землетрясений на территории ВЕП в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
4. Верхованцев Ф.Г., Нестеренко М.Ю. Сейсмические станции региона Урал и Западная Сибирь в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
5. Красилов С.А., Семёнов А.М. Оснащение ИОЦ ВКМ программно-аппаратурными средствами для организации наблюдений в режиме, близком к реальному времени, на примере сейсмостанции «Сторожевое» // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Второй Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 117–120.
6. Асминг В.Э. Создание программного комплекса для автоматизации детектирования, локации и интерпретации сейсмических событий и его использование для изучения сейсмичности Северо-Западного региона: Дис. на соиск. уч. степ. канд. ф.-м. наук – М.: ИДГ РАН, 2004. – 128 с.
7. Асминг В.Э., Федоров А.В. Модернизированный алгоритм автоматического детектирования и локации землетрясений по одиночной сейсмической группе и опыт его применения для изучения афтершоковой последовательности землетрясения в районе архипелага Шпицберген // Сейсмические приборы. – Вып. 46. – № 2. – 2010. – С. 5–14.
8. Asming, V., & Prokudina, A. (2016) System for automatic detection and location of seismic events for arbitrary seismic station configuration NSDL. – ESC: 2016-373, 35th General Assembly of the European Seismological Commission.
9. Hicks, E.C., Kværna, T., Mykkeltveit, S., Schweitzer, J., & Ringdal, F. Travel-times and attenuation relations for regional phases in the Barents Sea Region // Pure and Applied Geophys. – January, 2004. – Vol. 161. – № 1. – P. 1–19.
10. *Seismic events in Northern Europe*. 2015. Final monthly bulletin Institute of Seismology / Ed. P. Heikkinen. – Finland, Helsinki, 2015.
11. Uski, M. Local magnitude relations for earthquakes recorded in Finland // Phil. Lic. thesis in geophysics, Dept. of Geophysics. – University of Helsinki, 1997.

12. Взрывы и землетрясения на территории Европейской части России / Ред.: акад. Адушкин В.В., чл.-корр. РАН Маловичко А.А. – М.: ГЕОС, 2013. – 381 с.
13. Havskov, J.P., Voss, H., & Ottemöller, L. (2020). Seismological Observatory Software: 30 Yrof SEISAN, *Seismol. Res. Lett.* 91, 1846–1852.
14. Ландер А.В. Программа расчета и графического представления механизмов очагов землетрясений по знакам первых вступлений *P*-волн (FA) / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018662004 от 25 сентября 2018 г.
15. Malytskyy, D., & D'Amico, S. 2015. Moment tensor solutions through waveforms inversion. – Messina. *Mistral Service SaS.* – 25 p.
16. Malytskyy, D. 2016. Mathematical modeling in the problems of seismology. – *Naukova Dumka, Kyiv.* – 277 p. (In Ukrainian).
17. 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 // Доклады академии наук. – 2019. – Т. 489, № 4. – С. 73–76.
18. Удоратин В.В., Носкова Н.Н. Глубинное строение и сейсмичность Кировско-Кажимского авлакогена. – Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2018. – 208 с.
19. Петрова Н.В., Дягилев Р.А., Габсатарова И.П. Особенности затухания сейсмического эффекта землетрясений Русской платформы и Урала // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2020. – Т. 47, № 4. – С. 5–25. doi: 10.21455/VIS2020.4-1
20. Тектоника Восточно-Европейской платформы и ее обрамления / Под ред. Волчегурского Л.В., Гарецкого Р.Г., Кирюхина Л.Г., Муратова М.В., Раабена М.Е., Фрейдлина А.А., Шлезингера А.Е., Яншина А.Л. – М.: Наука, 1975. – 240 с.
21. Шумлянская Л.А., Александров А.Л. Землетрясение 03.02.2015 г. // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2015. – Т. 42, № 4. – С. 65–76.
22. Адушкин В.В., Санина И.А., Габсатарова И.П., Иванченко Г.Н., Горбунова Э.М. Техногенно-тектонические землетрясения Днепровско-Донецкого авлакогена // Доклады академии наук. – 2016. – Т. 46, № 4. – С. 479–482. doi: 10.7868/S0869565216220151
23. 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. Параметры землетрясения 3 февраля 2015 г. на границе Полтавской и Сумской областей Украины // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: геология. – 2016. – №1. – С. 115–123.
24. Кутас В.В., Андрущенко Ю.А., Омельченко В.Д., Лящук А.И., Калитова И.А. Землетрясения в Днепровско-Донецком авлакогене // Геофизический журнал. – 2015. – Т. 37, № 5. – С. 143–151.
25. Свидлова В.А., Бондарь М.Н. Каталог и подробные данные о сейсмических событиях центральной и северо-восточной частей Украины за 2010 г. // В сб.: Сейсмологический бюллетень Украины за 2010 год. – Севастополь: НПЦ «Экоси-Гидрофизика», 2011. – С. 109–114.
26. Макросейсмический эффект землетрясений, ощутимых в населенных пунктах Украины в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
27. Лукк А.А., Мирзоев К.М. Некоторые оценки напряженно-деформированного состояния земной коры Русской платформы // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2020. – Т. 47, № 1. – С. 70–90.
28. Соллогуб В.Б. Литосфера Украины – К.: Наук. Думка, 1986. – 184 с.
29. Konechnaya, Ya.V., Morozov, A.N., Vaganova, N.V., & Zueva I.A. (2019) Updated data on the current seismicity of the White Sea and the Karelian region during the period 2005–2016. *Arctic Environmental Research* 19(1): 11–19 pp. UDC 550.34.06. DOI 10.3897. ISSN 2541-8416.2019.19.1.11
30. Nikulins, V., & Assinovskaya, B., 2018. Seismicity of the East Baltic region after the Kaliningrad earthquakes on 21 September 2004. *Baltic.* – V. 31. – № 1. – С. 35–48.
31. Малицький Д., Нікулін В., 2021. Механізм вогнища литовського землетрусу 12.06.2015 року ($t_0=08:18:26.4$; 55.52°N , 21.40°E ; $h_s=0.9$ км; $ML=2.6$) на основі інверсії хвильових форм. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка – ГЕОЛОГІЯ. (В печаті). <http://geolvisnyk.univ.kiev.ua/> (На українському яз.).
32. Part V-2015. Catalogs_explosions_2015.xls // Землетрясения России в 2015 году. – Обнинск: ГС РАН, 2017. – Приложение на CD-ROM.

**SEISMICITY of the RUSSIAN PART of EAST EUROPEAN PLATFORM
and ADJACENT TERRITORIES in 2015**

**I.P. Gabsatarova¹, B.A. Assinovskaya², S.V. Baranov¹, V.V. Karpinsky^{3,4}, Ya.V. Konechnaya¹,
L.M. Munirova¹, L.I. Nadezhka⁵, V.G. Nikulins⁶, N.N. Noskova², S.I. Petrov¹, S.P. Pivovarov⁷,
I.A. Sanina⁷**

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

⁵Latvian Environment, Geology and Meteorology Center, Riga, Latvia;

⁶IG Komi Scientific Center Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar;

⁷Institute of Dynamics of Geospheres of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. It is reported that 41 stationary seismic stations, 2 arrays, and 7 temporary seismic stations, located in the area of Novovoronezh and Kursk nuclear stations, monitored seismicity of the Russian territory of the East European Platform (EEP) in 2015. The registration capabilities of the seismic network at the EEP as a whole were estimated based on the average station noise level and the equation for the energy decay of seismic phases. Zones with the best capabilities have been allocated. A feature of seismicity in 2015 is the manifestation of earthquakes of moderate magnitudes ($M_L=2.7-3.9$) in the peripheral regions (in the southwest, west, and northwest) and in zones associated with paleorift structures: in the southwest – with the Dnieper-Donets and in the northeast – with the Kirov-Kazhim and Soligalich (Central Russian) aulacogenes. The results of the macroseismic survey are given for the earthquake in Poltava on February 2, 2015, with $M=3.7$; focal mechanisms of two earthquakes (03.02.2015 and 12.06.2015) are constructed. According to the data of the Latvian Center, an earthquake was recorded in the region of Lithuania bordering the Kaliningrad region. Weaker natural seismicity with $M_L \leq 2.5$ was recorded in Karelia and the regions bordering with Finland, near the Kandalaksha Bay, near the Khibiny, and Lovozersky massifs on the Kola Peninsula, and on the territory of the Voronezh crystalline massif.

Keywords: weak seismicity, technogenic seismicity. Dnieper-Donets aulacogen, Kirovsko-Kazhimsky aulacogen, strike-slip fault plane solution.

DOI: 10.35540/1818-6254.2021.24.17

For citation: 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. (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

References

1. 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. doi: 1818-6254.2020.23.19 (In Russ.).
2. Dyagilev, R.A. (2020). [The program for calculating registration capabilities of seismic networks and groups, Sarra]. Certificate of state registration of a computer program No. 2020662170, dated 09.10.2020 (In Russ.).
3. Baranov, S.V., Gabsatarova, I.P., Petrov, S.I., Poygina, S.G., Karpinsky, V.V., Pivovarov, S.P., Konechnaya, Ya.V., Nadezhka, L.I., & Meshcheryakova, V.A. (2021). [Seismic stations participating in the determination of the parameters of the hypocenters of earthquakes on the territory of the EEP in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes of Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
4. Verkholantsev, F.G., & Nesterenko, M.Yu. (2021). [Seismic stations of the Ural and Western Siberia region in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes of Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
5. Krasilov, S.A., & Semenov, A.M. (2007). [Equipping the IOC VKM with hardware and software for organizing observations in near real-time mode, using the Storozhevoy seismic station as an example]. In *Materialy II Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly "Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh"* [Proceedings of the II International Seismological Workshop "Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data"] (pp. 117–120). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).

6. Asming, V.E. (2004). [Creation of a software package for the automation of detection, location and interpretation of seismic events and its use to study the seismicity of the North-West region. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Moscow, Russia: IDG RAN Publ., 128 p. (In Russ.).
7. Asming, V.E., & Fedorov, A.V. (2011). The improved algorithm of automatic detection and location of earthquakes by a single seismic array and its application for study of aftershock sequence in the Spitsbergen archipelago. *Seismic Instruments*, 47(1), 50–56.
8. Asming, V. & Prokudina, A. (2016). System for automatic detection and location of seismic events for arbitrary seismic station configuration NSDL. In *ESC: 2016–373, 35th General Assembly of the European Seismological Commission*.
9. Hicks, E.C., Kværna, T., Mykkeltveit, S., Schweitzer, J., & Ringdal, F. (2004.). Travel-times and attenuation relations for regional phases in the Barents Sea Region. *Pure and Applied Geophysics*, 161(1), 1–19.
10. Heikkinen, P. (Ed). (2015). *Seismic events in Northern Europe*. Final monthly bulletin Institute of Seismology. Finland, Helsinki.
11. Uski, M. (1997). Local magnitude relations for earthquakes recorded in Finland. *Phil. Lic. thesis in geophysics, Dept. of Geophysics.–University of Helsinki*.
12. Adushkin, V.V., & Malovichko, A.A. (Eds.). (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.).
13. Havskov, J., Voss, P. H., & Ottemöller, L. (2020). Seismological observatory software: 30 years of SEISAN. *Seismological Research Letters*, 91(3), 1846–1852.
14. Lander, A.V. (2018). [The program for calculating and graphically representing the mechanisms of earthquake foci by the signs of the first arrivals of P-waves (FA)]. Certificate of state registration of the computer program No. 2018662004, dated 25.09.2018 (In Russ.).
15. Malytskyy, D. & D’Amico, S. (2015). Moment tensor solutions through waveforms inversion. Messina. Mistral Service SaS., 25 p.
16. Malytskyy, D. (2016). Mathematical modeling in the problems of seismology. Naukova Dumka, Kyiv, Ukraine, 277 p.
17. Adushkin, V.V., Sanina, I.A., Ivanchenko, G.N., Gorbunova, E.M., Gabsatarova, I.P., Konstantinovskaya, N.L., & Nesterkina, M.A. (2019). [European Platform]. *Doklady akademii nauk* [Doklady earth sciences], 489(4), 73–76. (In Russ.).
18. Udoratin, V.V., & Noskova, N.N. (2018). *Glubinnoe stroenie i seismichnost' Kirovsko-Kazhimskogo avlakogena* [Deep structure and seismicity of the Kirov-Kazhim aulacogen]. Syktyvkar, Russia: IG Komi Science Center UB RAS Publ., 208 p. (In Russ.).
19. Petrova, N.V., Dyagilev, R.A., & Gabsatarova, I.P. (2020). [Features of attenuation of the seismic effect of earthquakes in the Russian platform and the Urals]. *Voprosy inzhenernoi seismologii* [Seismic Instruments], 47(4), 5–25. doi: 10.21455/VIS2020.4–1. (In Russ.).
20. Volchegursky, L.V., Garetsky, R.G., Kiryukhina, L.G., Muratova, M.V., Raaben, M.E., Freidlin, A.A., Schlesinger, A.E., & Yanshin, A.L. (Eds). (1975). *Tektonika Vostochno-Evropeiskoi platformy i ee obramleniia* [Tectonics of the East European Platform and Its Framing]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 240 p. (In Russ.).
21. Shumlyanskaya, L.A., & Aleksandrov, A.L. (2015). [Earthquake 02/03/2015]. *Voprosy inzhenernoi seismologii* [Seismic Instruments], 42(4), 65–76. (In Russ.).
22. Adushkin, V.V., Sanina, I.A., Gabsatarova, I.P., Ivanchenko, G.N., & Gorbunova, E.M. (2016). [Technogenic tectonic earthquakes of the Dnieper-Donets aulacogen]. *Doklady akademii nauk* [Doklady earth sciences], 46(4), 479–482. DOI: 10.7868/S0869565216220151 (In Russ.).
23. 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. (2016). [Parameters of the earthquake on February 3, 2015 on the border of the Poltava and Sumy regions of Ukraine]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: geologiya* [Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology], 1, 115–123. (In Russ.).
24. Kutas, V.V., Andryushchenko, Yu.A., Omelchenko, V.D., Lyashchuk, A.I., & Kalitova, I.A. (2015). [Earthquakes in the Dneprovo-Donetsk aulacogen]. *Geofizicheskii zhurnal* [Geophysical journal], 37(5), 143–151. (In Russ.).
25. Svidlova, V.A., & Bondar, M.N. (2011). [Catalog and detailed data on seismic events in the central and north-eastern parts of Ukraine for 2010] In *Seismologicheskii biulleten' Ukrainy za 2010 god* [Seismological Bulletin of Ukraine for 2010] (p. 109–114). Sevastopol, Ukraine: SPC "Ecosi-Hydrophysics" Publ. (In Russ.).

26. Gabsatarova, I.P. (2015). [Macro seismic effect of earthquakes felt in the settlements of Ukraine in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
27. Lukk, A.A., & Mirzoev, K.M. (2020). [Some estimates of the stress-strain state of the earth's crust of the Russian platform]. *Voprosy inzhenernoi seismologii* [Seismic Instruments], 47(1), 70–90. (In Russ.).
28. Sollogub, V.B. (1986). *Litosfera Ukrainy* [Lithosphere of Ukraine]. Kiev, Ukraine: Nauka Dumka Publ., 184 p. (In Russ.).
29. Konechnaya, Ya.V., Morozov, A.N., Vaganova, N.V., & Zueva, I.A. (2019). Updated data on the current seismicity of the White Sea and the Karelian region during the period 2005–2016. *Arctic Environmental Research*, 19(1), 11–19.
30. Nikulins, V., & Assinovskaya, B. (2018). Seismicity of the East Baltic region after the Kaliningrad earthquakes on 21 September 2004. *Baltic*, 31(1), 35–48.
31. Malitskiy, D., & Nikulin, V. (2021). [Mechanism of the fire of the Lithuanian earthquake on 12.06.2015 rock ($t_0=08:18:26.4$; 55.52°N , 21.40°E ; $hs=0.9$ km; $ML=2.6$) on the basis of inversion of hvillovy forms]. *Visnik Kiivskogo natsional'nogo universitetu imeni Tarasa Shevchenka – GEOLOGIIA* [Bulletin of the Taras Shevchenko National University of Kyiv - Geology]. (In press). (In Ukran.).
32. [Catalogs_explosions_2015]. (2017). In *Zemletriaseniia Rossii v 2015 godu* [Earthquakes in Russia in 2015]. Obninsk, Russia: GS RAS Publ. Appendix on CD-ROM. (In Russ.).