

СЕЙСМИЧНОСТЬ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ В 2015 г.

Т.И. Аронова, Г.А. Аронов, Т.А. Протасовицкая, А.Г. Аронов

*Центр геофизического мониторинга Национальной академии наук Беларуси,
г. Минск, Беларусь, centr@cgm.org.by*

Аннотация. Представлен обзор сейсмичности территории Беларуси в 2015 г. на основе данных двух аналоговых (работали в первом полугодии) и 17 цифровых станций. Зарегистрировано 80 событий с $Kd=4.6-8.4$, все они проявились в южной части зоны ответственности, включающей Солигорский горно-промышленный район. Приведена карта эпицентров всех землетрясений за 2015 год. Представлена таблица распределения сейсмических событий по энергетическим классам Kd и сейсмической энергии по месяцам. Максимум высвобождения сейсмической энергии приходится на август, а максимум числа событий наблюдался в июле. Уровень выделившейся сейсмической энергии в 2015 г. не изменился по сравнению с таковым в 2014 г., но ниже долговременного среднегодового значения энергии за 1983–2014 гг. в 2.18 раза. Число событий в 2015 г. больше в 1.4 раза, чем в 2014 г., и больше среднегодового значения за 32 года в 1.86 раза. Распределение числа землетрясений по интервалам глубин показало, что в основном очаги землетрясений локализованы в верхних слоях земной коры до 20 км, при этом на глубинах более 10 км находятся очаги 47 событий. Представлено распределение всех событий за 2015 г. в реальном времени, определены периоды затишья и активизации сейсмического процесса. Реализация сейсмических событий по часовым интервалам показала периоды повышения числа событий. Определены максимальные и минимальные значения N из распределения сейсмических событий по дням недели.

Ключевые слова: сейсмическая станция, землетрясение, каталог, эпицентр, энергетический класс, расчетная магнитуда.

DOI: 10.35540/1818-6254.2021.24.18

Для цитирования: Аронова Т.И., Аронов Г.А., Протасовицкая Т.А., Аронов А.Г. Сейсмичность на территории Беларуси в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 192–199. doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.18

Введение. Территория Беларуси расположена на западе древней Восточно-Европейской платформы и, в соответствии с сеймотектоническим районированием, относится к слабоактивному региону [1]. Наблюдения за сейсмическими процессами проводит Центр геофизического мониторинга НАН Беларуси. В тектоническом плане сейсмические события, зарегистрированные в 2015 г., приурочены к зоне сочленения северо-западной части Припятского прогиба и Белорусской антеклизы, включая Солигорский горнопромышленный регион [2]. Старобинское месторождение в Беларуси – крупнейшее в Европе месторождение калийных солей – было открыто в 1949 г. и начало разрабатываться с начала шестидесятых годов прошлого столетия. Учитывая происходящие в течение длительного времени изменения напряженного состояния геологической среды, вызванные выемкой, перемещением горных пород и их складированием в соляных отвалах, можно предположить, что Солигорские землетрясения связаны с наведенной сейсмичностью и имеют техногенный характер. Однако проявления сейсмичности за пределами зоны промышленных выработок служат признаком того, что с определенного времени сейсмический процесс начинает контролироваться в основном региональными геодинамическими факторами и в меньшей степени зависит от горнодобывающей деятельности [3]. Ярким проявлением геодинамической активизации недр на территории Старобинского месторождения калийных солей, вызвавшим интерес к этой проблеме, стало землетрясение 10 мая 1978 г. с эпицентром в д. Кулаки Солигорского района. Регулярные непрерывные наблюдения в Солигорском горнопромышленном регионе начались в 1983 году.

Сеть сейсмических станций. В 2015 г. наблюдения проводились на станциях «Минск» (MIK) и «Нарочь» (NAR), где установлены регистраторы сейсмических сигналов аналоговых станций «ССМ» и цифровых станций «SDAS» (Seismic digital acquisition station) российского производства, изготовленные фирмой «Геотех+» (г. Обнинск) [4] с широкополосными сейсмодатчиками СМ-3-ОС. Продолжили работу восемь станций Солигорской локальной сети: «Волоты» (VOL), «Тесово» (TES), «Устронь» (UST), «Чижовка» (CHJ), Копацевичи (KAP), Новый луг (NVL), «Махновичи» (MAH), «Листопадовичи» (LST) и семь станций Островецкой локаль-

ной сети: «Градовщица» (GRD), «Вадатишки» (VDT), «Бояры» (BOR), «Селище» (SEL), «Горная Каймина» (GRK), «Воробьи» (VRB), «Литвяны» (LTV). Широкополосная сейсмическая станция Нарочь (NAR) расположена в 45 км к северо-востоку от Островецкой локальной сети. Расположение всех сейсмических станций показано на рис. 1. В наблюдательной сети произошли следующие изменения относительно [5]: были сняты аналоговые станции «ССМ» – 1 июня на станции «Минск» (МИК) и 1 июля на станции «Нарочь» (NAR), т.к. физический износ аппаратуры на станциях не позволил их дальнейшую эксплуатацию. Однако на чувствительности белорусской сейсмологической сети эти изменения не сказались.

На Солигорской и Островецкой локальных сетях непрерывные наблюдения проводились аппаратурой, состоящей из регистраторов сейсмических сигналов «Дельта-03» (изготовитель – фирма «ГЕОТЕХ», Россия [6]) и короткопериодных сейсмоприемников «Le 3DLite» (изготовитель – фирма «LENNARTZ», Германия [7]). Все цифровые станции работали в режиме on-line с непрерывной передачей информации через мобильную сеть в центр сбора информации в г. Минск.

Сведения обо всех станциях и параметрах регистрирующей аппаратуры приведены в электронном приложении [8] к настоящему выпуску ежегодника.

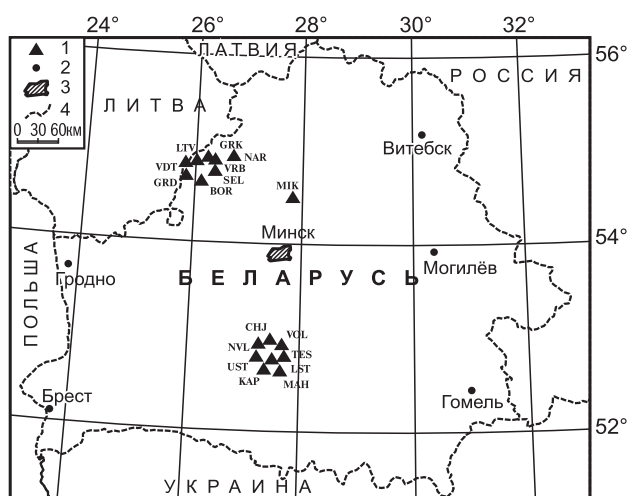


Рис. 1. Сеть сейсмических станций Беларуси в 2015 г., внешняя рамка карты соответствует границе зоны ответственности территории Беларуси
1 – сейсмическая станция; 2 – город; 3 – г. Минск; 4 – государственная граница.

Методика обработки записей сейсмических событий. Обработка землетрясений осуществлялась с помощью современных стандартных компьютерных программ, подробно изложенных в [9]. Телесеismicкие и региональные землетрясения обрабатывались с использованием программы WSG (система обработки сейсмических данных), разработанной в ГС РАН [10], и пакета компьютерных программ из [11], разработанных и адаптированных в Центре геофизического мониторинга НАН Беларуси (IdSeism – идентификация сейсмических явлений: выделение телесеismicких, региональных, местных (локальных) событий и взрывов; UniViewer – визуальное отображение сейсмических данных из различных файлов: файлов станций «SDAS» и файлов типа DDB со станций «Дельта-03»; EmulEq – решение прямой задачи распространения сейсмических волн).

Программа HYPOSAT была адаптирована и использовалась в Центре для локации местных сейсмических событий станциями Солигорской локальной сети. По времени вступлений P - и S -волн вычислялись: время t_0 возникновения землетрясения и положение гипоцентра (φ , λ , h), а также погрешности – как общая погрешность δt_0 по времени t_0 в очаге и погрешности $\delta\varphi^\circ$, $\delta\lambda^\circ$, δh по положению гипоцентра (φ , λ , h), так и ошибка каждого отдельного вступления. Наряду с региональным годографом [12], в программе предусмотрено применение мирового годографа IASPEI [13].

Энергетический класс сейсмических событий Kd определялся по длительности колебаний на записи, где τ – длительность записи от начала колебаний до момента слияния с микросейсмами [9, 14]. Соотношение (1) между длительностью записи τ (с) и энергетическим классом $K_p=Kd$ было получено экспериментально [9] в виде:

$$K_p=Kd=7.2 \lg\tau-6.8. \quad (1)$$

Определение расчетных магнитуд получено традиционно [5, 9] пересчетом из энергетических классов Kd по формуле Т.Г. Раутиан из [15], в предположении о возможности ее использования и для классов Kd :

$$M=(Kd-4)/1.8. \quad (2)$$

Каталог землетрясений. На территории Беларуси сейсмическими станциями в 2015 г. было зарегистрировано 80 землетрясений с $Kd=4.6-8.4$ и с определением всех параметров [16]. Самое слабое землетрясение с $Kd=4.6$ зафиксировано 7 августа в 21^h07^m, а максимальное землетрясение с $Kd=8.4$ отмечено 13 августа в 01^h45^m. Это землетрясение произошло в 6 км к северу от г. Солигорска на глубине $h=17$ км. Эпицентр находился в 1 км к юго-востоку от д. Чепели. Сведений об ощутимости сотрясений от этого землетрясения не поступало.

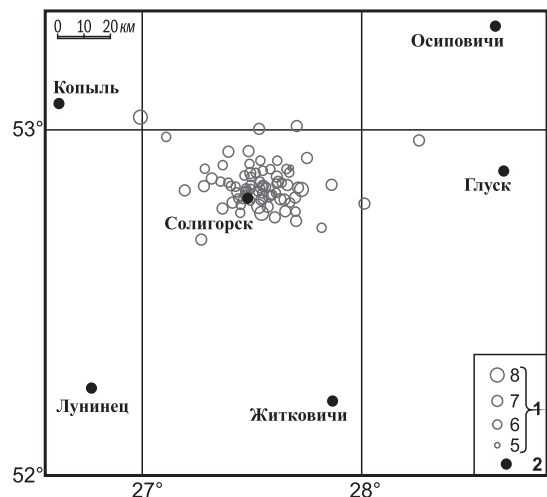


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений в Беларуси за 2015 г.

1 – энергетический класс Kd ; 2 – город.

Анализ пространственного распределения сейсмичности на территории Беларуси показал, что эпицентры землетрясений располагаются в ее южной части (рис. 2). На западе, севере, востоке и в центральной части Беларуси не было зарегистрировано ни одного землетрясения.

Распределение числа сейсмических событий по энергетическим классам Kd и суммарной выделенной сейсмической энергии по месяцам представлено в табл. 1.

Таблица 1. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам Kd и суммарная сейсмическая энергия ΣE за январь–декабрь 2015 г.

Месяц	Kd					N_{Σ}	$\Sigma E,$ 10^9 Дж
	5	6	7	8	9		
I	–	4	3	–	–	7	0.0348
II	–	3	4	–	–	7	0.0640
III	–	3	3	–	–	6	0.0459
IV	–	1	2	1	–	4	0,1067
V	–	1	2	–	–	3	0,0409
VI	–	3	3	–	–	6	0.0415
VII	–	5	7	–	–	12	0.1085
VIII	3	4	2	1	–	10	0.3170
IX	–	4	3	1	–	8	0.1367
X	2	2	1	–	–	5	0.0219
XI	1	6	–	1	–	8	0.0746
XII	1	1	2	–	–	4	0.0665
Всего	7	37	32	4	–	80	1.0591

Распределение очагов землетрясений по интервалам глубин показано в табл. 2. В основном они (64) локализованы в верхних слоях земной коры с $h=0-20$ км, в слое с $h=21-39$ км зафиксировано 13 событий, остальные (3) имеют глубины $h=40-53$ км. Погрешность определения глубин гипоцентров находится в пределах $\delta=\pm(0-10)$ км. Из приведенной табл. 2 следует отрицание приповерхностного характера сейсмичности в Солигорском горнопромышленном регионе, т.к. на глубинах $h>10$ км находится 58.75 % событий.

Таблица 2. Распределение числа землетрясений по интервалам глубин h в 2015 г.

$h_1-h_2, км$	0–10	11–20	21–30	31–40	41–50	51–60	N_{Σ}
$N(h)$	33	31	8	6	1	1	80

На рис. 3 показана запись станцией «Чижовка» (СНУ) землетрясения 17 июня в 17^h21^m с $Kd=6.5$, для которого в каталоге землетрясений Беларуси указана глубина очага $h=50$ км, с погрешностью ее определения 2 км [16].

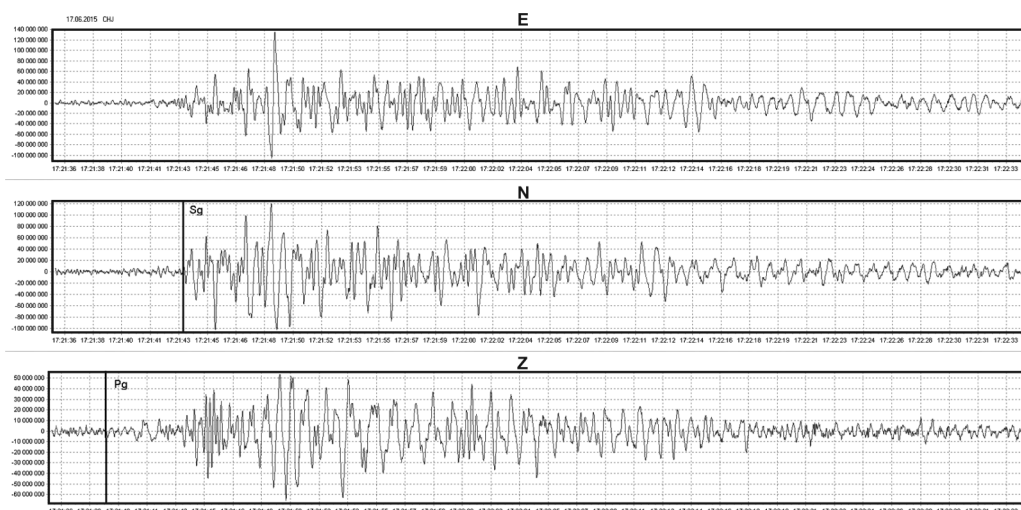


Рис. 3. Фрагменты сейсмограмм (E, N, Z-компоненты) землетрясения, произошедшего 17 июня 2015 г. в 17^h21^m в Солигорском районе

По мнению редакции, глубина $h=50$ км показанного на рис. 3 землетрясения вызывает большие сомнения, т.к. подобные записи (нечеткие вступления P- и S-волн, интенсивная поверхностная волна) характерны для взрывов или землетрясений на небольших глубинах. Возможно также, что волновые формы на рис. 3 состоят из нескольких событий.

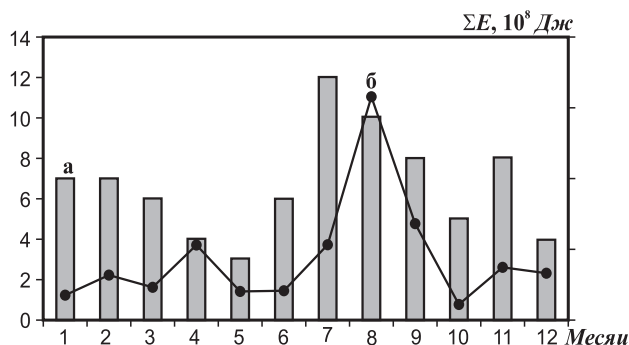


Рис. 4. Распределение числа сейсмических событий (а) и выделившейся энергии (б) за 2015 г.

$\Sigma E=1.059 \cdot 10^9$ Дж, сопоставим с таковым в 2014 г. ($\Sigma E=1.144 \cdot 10^9$ Дж [5]) и в 2.18 раза ниже его среднегодового значения $\Sigma E_{\text{ср}}=2.309 \cdot 10^9$ Дж за 32 года. Число событий 2015 г. ($N_{\Sigma}=80$) больше в 1.4 раза, чем в 2014 г. ($N_{\Sigma}=57$ [5]), и больше в 1.86 раза относительно его среднегодового долговременного значения, равного $N_{\Sigma \text{ср}}=43.09$.

Таблица 3. Годовые значения числа событий разных энергетических классов Kd и их суммарной сейсмической энергии на территории Беларуси за 2014 и 2015 г., суммарные и средние значения за 1983–2014 гг.

Год	Kd						N_{Σ}	$\Sigma E, 10^9$ Дж
	4	5	6	7	8	9		
2014		16	27	10	3	1	57	1.144
Сумма	5	171	383	441	375	4	1379	73.879
Среднее за 32 года	0.16	5.34	11.97	13.78	11.72	0.13	43.09	2.309
2015		7	37	32	4	0	80	1.059

В целом по региону наблюдался спад суммарной сейсмической энергии после 1999 г. с $\Sigma E=7.227 \cdot 10^9$ Дж в 1999 г. до $\Sigma E=0.249 \cdot 10^9$ Дж в 2012 г., а также почти монотонный спад суммарного числа землетрясений с 2002 г. ($N_{\Sigma}=90$) по 2012 г. ($N_{\Sigma}=17$) (рис. 5). В 2013–2014 гг. отмечался рост значений выделившейся суммарной сейсмической энергии и суммарного числа земле-

трясений. В 2015 г. продолжился рост суммарного числа землетрясений, но произошел небольшой спад суммарной сейсмической энергии. Следует отметить отсутствие устойчивой корреляции между этими двумя параметрами как в 2015 г., так и в 1983–2015 гг.

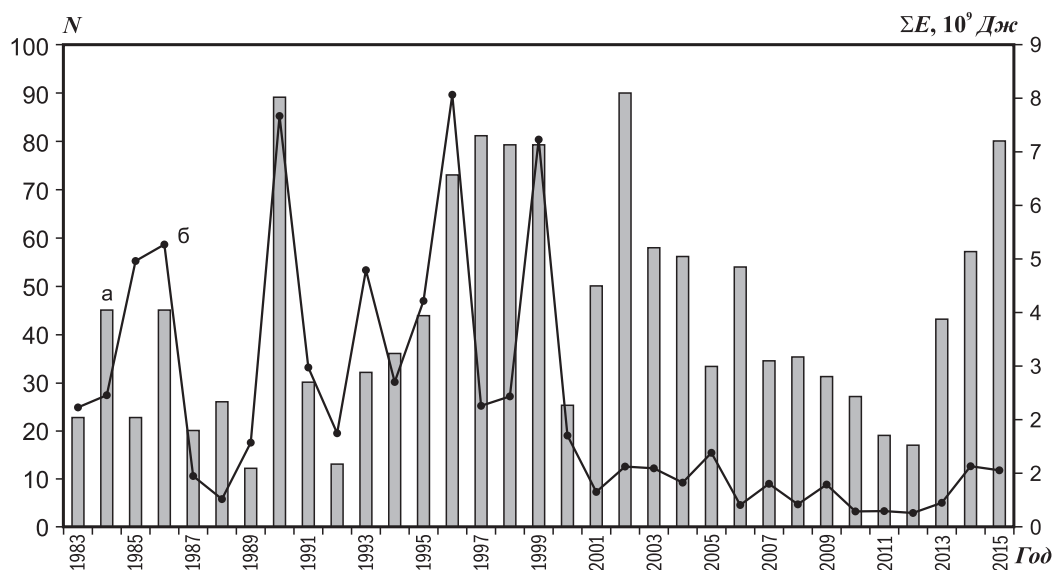


Рис. 5. Распределение числа сейсмических событий (а) и суммарной выделившейся энергии (б) по годам с 1983 г. по 2015 г.

В реальном времени 80 событий за 2015 г. развернуто по временной оси на рис. 6, на котором видны четыре периода затишья: с середины февраля до начала марта, со второй декады мая по конец мая, со второй декады ноября по конец ноября и вторая половина декабря. Два периода активности наблюдались с середины января до середины февраля и с конца мая по вторую декаду августа (в этот период, 13 августа, зафиксировано землетрясение с $Kd=8.4$ [16]).

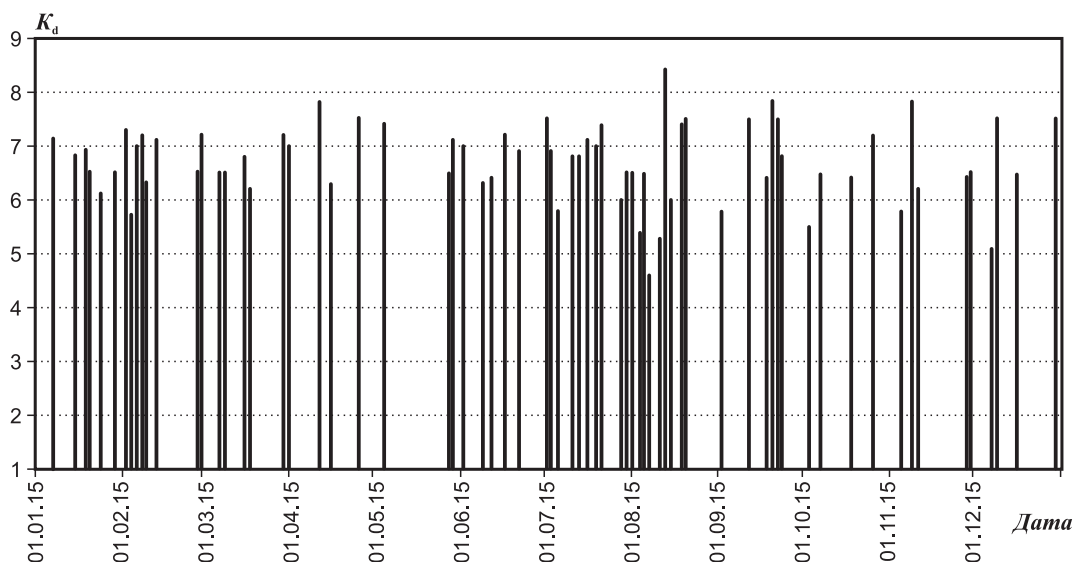


Рис. 6. Развертка сейсмических событий разных классов Kd по временной оси в 2015 г.

Распределение всех событий за 2015 г. по часовым интервалам показано на рис. 7. На графике видны периоды повышения числа событий в (02^h) и в (21^h).

На рис. 8 показано распределение всех землетрясений за 2015 г. по дням недели, среди них максимум с $N=16$ преобладает в среду, минимум наблюдается в пятницу с $N=7$.

Анализируя частоту реализации сейсмических событий в разные годы, можно отметить, что нет четкого проявления максимумов числа событий в определенное время суток и по дням недели.

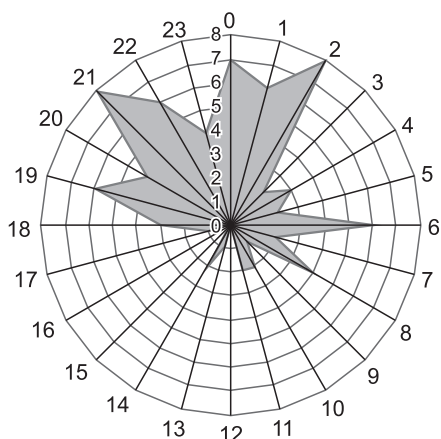


Рис. 7. Реализация сейсмических событий по часам суток в 2015 г.

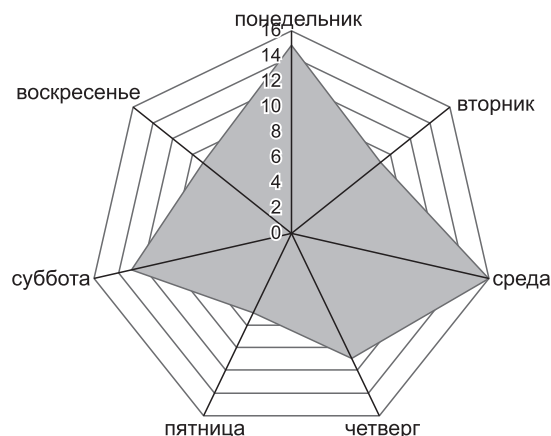


Рис. 8. Распределение сейсмических событий по дням недели в 2015 г.

Заключение. Обзор сейсмичности территории Беларуси за 2015 г. представлен на основе анализа работы данных двух аналоговых (первая половина года) и 17 цифровых станций. Все цифровые станции работали в режиме on-line с непрерывной передачей информации через мобильную сеть в центр сбора информации. Обработка зафиксированных сейсмических событий осуществлялась с помощью современных стандартных компьютерных программ.

В 2015 г. на территории Беларуси зарегистрировано 80 землетрясений с $Kd=4.6-8.4$. Землетрясение с наибольшим энергетическим классом $Kd=8.4$ произошло 13 августа в 01^h45^m. По-прежнему природная сейсмическая активность наблюдается в южной части территории, включая Солигорский горнопромышленный район. Сейсмические события, происходящие в Солигорском горнопромышленном районе, относятся к индуцированной сейсмичности и являются следствием как горнодобывающей деятельности, так и естественных деформационных процессов в регионе. Они также несут важную информацию о пространственном расположении активно деформирующихся областей горного массива Солигорского горнопромышленного региона.

Анализ сейсмичности показал, что уровень выделившейся сейсмической энергии в 2015 г. понизился относительно такого в 2014 г. и остается ниже среднего за много лет.

Л и т е р а т у р а

1. Аронов А.Г., Сероглазов Р.Р., Аронова Т.И. Сейсмичность и сейсмоструктура плит древних платформ в области четвертичного оледенения / Под ред. Р.Г. Гарецкого, С.А. Несмеянова. – М.: «Книга и Бизнес», 2009. – С. 122–137.
2. Геология Беларуси / Под общ. ред. А.С. Махнач [и др.]. – Минск: ИГН НАН Беларуси, 2001. – 815 с.
3. Aronov A.G., Mukhamediev Sh.A., Aronova T.I. Stress state of the Earth's crust and seismicity in a potassium salt mining region in Belarus // Acta Geodaetica et Geophysica. – 2014. – V. 49, N 2. – P. 125–134.
4. Результаты проведения комплексных сейсмологических и геофизических наблюдений и обработки данных на базе стационарных и мобильных сейсмических сетей // Отчет ЦОМЭ ГС РАН за 1999 год под общей ред. Д.Ю. Мехрюшева. – Обнинск: Фонды ГС РАН, 2000. – 87 с.
5. Аронова Т.И., Аронов Г.А., Протасовицкая Т.А., Аронов В.А. Беларусь // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 208–215. doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.20
6. Регистратор сейсмических сигналов «Дельта-03». Руководство по эксплуатации. ИТЛЯ. 416611.004 РЭ. – М.: 2007. – 20 с.
7. Техническая документация фирмы «Lennartz electronic GmbH». LE-xD Seismometer Family, DN: 990-0073. – Tübingen, Germany, 2012. – 30 с.
8. Аронов А.Г., Аронов Г.А. Сейсмические станции Беларуси в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
9. Аронов А.Г., Сероглазов Р.Р., Аронова Т.И., Колковский В.М., Аронов В.А., Ацута О.Н., Аронов Г.А. Беларусь // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 218–227.

10. Акимов А.П., Красилов С.А. Программный комплекс WSG «Система обработки сейсмических данных» / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020664678 от 16.11.2020 г.
11. Специальные работы по геофизическому мониторингу опасных геодинамических явлений и процессов за 2014 год // Отчет Центра геофизического мониторинга НАН Беларуси. – Минск: Фонды ЦГМ НАНБ, 2015. – 424 с.
12. Аронов А.Г. Региональные годографы сейсмических волн запада Восточно-Европейской платформы // Сейсмологический бюллетень. – Минск: ОКЖИОП, 1996. – С. 136–149.
13. Kennet B.L.N. IASPEI 1991 Seismological Tables. – Sydney, Australia: Research School of Earth Sciences Australian National University, 1991. – 167 p.
14. Маламуд А.С. Использование длительности колебаний для энергетической классификации землетрясений // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений, Т. II. – М.: АН СССР, 1974. – С. 180–194.
15. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности (Труды ИФЗ АН СССР, № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
16. Аронова Т.И., Килляр О.Н., Аронов В.А. Каталог землетрясений Беларуси за 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>

SEISMICITY of the TERRITORY of BELARUS in 2015

T.I. Aronova, G.A. Aronov, T.A. Protasovitskaya, A.G. Aronov

*Centre of Geophysical Monitoring of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Belarus, centr@cgm.org.by*

Abstract. An annual review of the seismicity in the territory of Belarus based on the data of two analog (operated in the first half-year) and seventeen digital stations is presented. A total of 80 events with $Kd=4.6-8.4$ were recorded all of them being confined to the southern part of the territory, the Soligorsk mining area included. The map of all the event epicenters for 2015 is given. The table of the distribution of the seismic events by their energy classes and seismic energy in months is presented. The maximum values of the seismic energy release fell in August, and the maximum number of the events was observed in July. The level of the seismic energy released in 2015 is the same as in 2014 but 2.18 times lower than its long-time average value for 1983–2014. The number of the events in 2015 is 1.4 times more than their number in 2014 and 1.86 times more than the N_{cp} value for the previous 32 years. The distribution of the earthquakes in the depth intervals layers showed that the earthquake foci are mostly located in the upper 20 km part of the Earth's crust. However, the foci of 47 earthquakes are located at depths above 10 km. The distribution of all the events in 2015 is represented in real-time. The quiet seismic periods and seismic activation periods were determined. The distribution of the seismic events in the hourly intervals showed the periods of the increase of the seismic events number. The maximum and minimum values N in the seismic event distribution by the days of the week were determined.

Keywords: seismic station, earthquake, catalogue, epicenter, energy class, magnitude.

DOI: 10.35540/1818-6254.2021.24.18

For citation: Aronova, T.I., Aronov, G.A., Protasovitskaya, T.A., & Aronov, A.G. (2021). [Seismicity of the territory of Belarus in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 192–199. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.18

R e f e r e n c e s

1. Aronov, A.G., Seroglazov, R.R., & Aronova, T.I. (2009). [Seismicity and seismotectonics]. In *Seismotektonika plit drevnikh platform v oblasti chetvertichnogo oledeneniia* [Seismotectonics of the Plates of the Old Platforms within an Area of the Quarternary Glaciation] (pp. 122–137). Moscow, Russia: Kniga i Biznes Publ. (In Russ.).
2. Makhnach, A.S., Goretzky, G.I., Matvejeva, A.V., & Anoshko, J.I. (2001). *Geologiya Belarusi* [Geology of Belarus]. Minsk, Belarus: The Institute of Geological Science Publ., 815 p. (In Russ.).
3. Aronov, A.G., Mukhamediev, Sh.A., & Aronova, T.I. (2014). Stress state of the Earth's crust and seismicity in a potassium salt mining region in Belarus. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 49(2), 125–134.
4. Mehrjushev, D.Ju. (2000). [Results of complex seismological and geophysical observations and data processing on the basis of the stationary and mobile seismic networks]. In *Otchet COME GS RAN za 1999 god* [Report of CEME GS RAS for 1999]. Obninsk, Russia: Funds of GS RAS, 87 p. (In Russ.).

5. Aronova, T.I., Aronov, G.A., Protasovitskaya, T.A., & Aronov, V.A. (2020). [Belarus]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), 208–215. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.20
6. *Registrator seismicheskikh signalov "Delta-03". Rukovodstvo po ekspluatatsii ITLIA.416611.004 RE.* [Seismic signal recorder "Delta-03". Operations Manual]. (2007). Moscow, Russia, 20 p. (In Russ.).
7. *Technical Documentation «Lennartz electronic GmbH».* (2012). LE-xD Seismometer Family, DN: 990-0073. Tübingen, Germany, 30 p. (In Russ.).
8. Aronov, A.G., & Aronov, G.A. (2021). [Seismic Stations of Belarus 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.).
9. Aronov, A.G., Seroglazov, R.R., Aronova, T.I., Kolkovsky, V.M., Aronov, V.A., Atsuta, O.N., & Aronov, G.A. (2018). [Belarus]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 21(2012), 218–227. (In Russ.).
10. Akimov, A.P., & Krasilov, S.A. (2020). [WSG software package "Seismic data processing system"]. Certificate of state registration of a computer program No. 2020664678. (In Russ.).
11. [Special works on geophysical monitoring of dangerous geodynamic phenomena and processes in 2014]. (2015). In *Otchet Tsentra geofizicheskogo monitoringa NAN Belarusi* [Report of the Centre of Geophysical Monitoring of the NAS of Belarus]. Minsk, Belarus: Funds of CGM NASB, 424 p. (In Russ.).
12. Aronov, A.G. (1996). [Regional Travel-Time Curves of Seismic Waves of the East European Platform West]. *Seismologicheskii biulleten'* [Seismological Bulletin] (pp. 136–149). Minsk, Belarus. (In Russ.).
13. Kennet, B.L.N. (1991). IASPEI 1991 Seismological Tables. Sydney, Australia: Research School of Earth Sciences Australian National University, 167 p.
14. Malamud, A.S. (1974). [The use of the oscillation duration for the energy classification of earthquakes]. In *Magnituda i energeticheskaya klassifikaciya zemletrjasenij, T. II* [Magnitude and the energy classification of the earthquakes, V. II] (pp. 180–194). Moscow, Russia: USSR Academy of Sciences Publ. (In Russ.).
15. Rautian, T.G. (1960). [Energy of the Earthquakes] In *Metody detalnogo izucheniya seismichnosti. Trudy IFZ AN SSSR, 9(176)*. [Methods of Detailed Study of the Seismicity. Proceedings of the IFZ SA USSR 9(176)] (pp. 75–114). Moscow, Russia: IFZ AN SSSR. (In Russ.).
16. Aronova, T.I., Killiar O.N., & Aronov, V.A. (2021). [Catalogue of the Earthquakes of Belarus 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.).