

БЕЛАРУСЬ

Т.И. Аронова, Р.Р. Сероглазов, Г.А. Аронов, О.Н. Ацута, В.А. Аронов

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

Аннотация. Представлен обзор сейсмичности территории Беларуси за 2013 г. на основе данных двух аналоговых и 18 цифровых станций. Всего зарегистрировано 43 события с $K_d=4.6-8.2$, которые проявились в южной части, включая Солигорский горнопромышленный район. Приведены карта эпицентров всех событий и таблица распределения по месяцам. Описано сравнение функции $N(K)$ за 2013 г. с таковыми за 1983–2012 гг. Уровень выделившейся сейсмической энергии в 2013 г. выше такового в 2012 г. в 1.89 раза и в 5.13 раз ниже его среднего значения за 30 предыдущих лет. Дано распределение числа событий по энергетическим классам и суммарной сейсмической энергии по месяцам в 2013 г., а также в целом за 31 год (с 1983 по 2013 г.). Представлено распределение всех событий за 2013 г. в реальном времени, по часовым интервалам и дням недели.

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

DOI: 10.35540/1818-6254.2019.22.21

Для цитирования: Аронова Т.И., Сероглазов Р.Р., Аронов Г.А., Ацута О.Н., Аронов В.А. Беларусь // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 240–246. doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.21

Введение. Территория Беларуси расположена на западе древней Восточно-Европейской платформы и в соответствии с сеймотектоническим районированием относится к слабоактивному региону [1]. В тектоническом плане сейсмические события, зарегистрированные в 2013 г., приурочены к зоне сочленения северо-западной части Припятского прогиба и Белорусской антеклизе, включая Солигорский горнопромышленный район [2].

Сеть сейсмических станций. Сейсмологические наблюдения на территории Беларуси в 2013 г. проводились, как и в 2012 г. [3], на станциях «Минск» (MIK), «Нарочь» (NAR), «Могилев» (MGL), «Волоты» (VOL), «Тесово» (TES), «Устронь» (UST). Без изменений продолжали работать семь станций Островецкой локальной сети: «Градовщизна» (GRD), «Вадатишки» (VDT), «Бояры» (BOR), «Селище» (SEL), «Горная Каймина» (GRK), «Воробьи» (VRB) и «Литвяны» (LTV). Продолжено формирование Солигорской локальной сети станций, так 14 августа были открыты станции «Чижовка» (CHJ), Копачевичи (KAP), Новый луг (NVL); 20 августа Махновичи (MAH); 31 октября

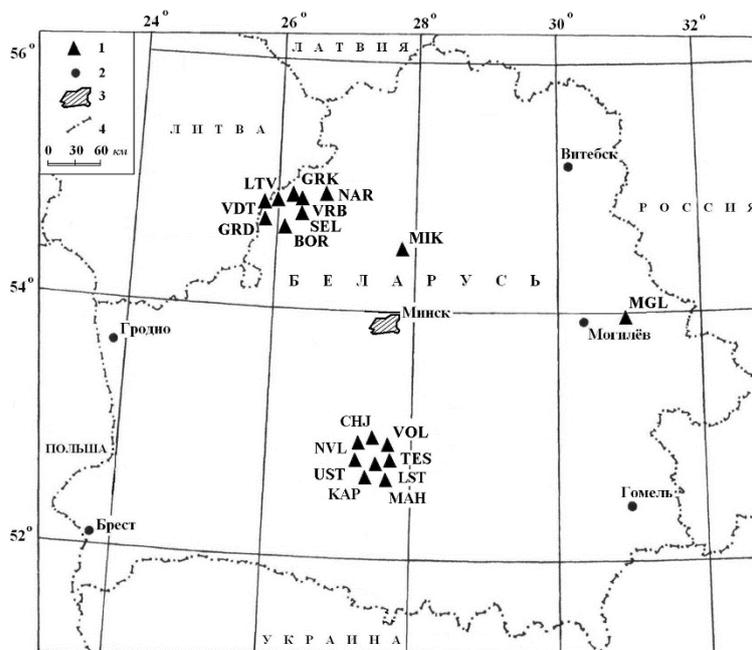


Рис. 1. Сеть сейсмических станций Беларуси за 2013 г.

1 – сейсмическая станция; 2 – город; 3 – г. Минск; 4 – государственная граница.

Листопадовичи (LST). Непрерывные наблюдения на Солигорской сети станций (кроме станции «Волоты») и Островецкой проводились аппаратурой, состоящей из регистраторов сейсмических сигналов «Дельта-03» (изготовитель – фирма «ГЕОТЕХ», Россия [3–6]) и короткопериодных сейсмоприемников «Le 3DLite» (изготовитель – фирма «LENNARTZ», Германия [3–5, 7]). Все цифровые станции работали в режиме on-line с непрерывной передачей информации через мобильную сеть в центр сбора информации в г. Минске. Расположение сейсмических станций показано на рис. 1. Сведения о станциях и параметрах регистрирующей аппаратуры приведены в Приложении к наст. ежегоднику на CD [8].

Методика обработки записей сейсмических событий. Обработка землетрясений осуществлялась с помощью современных стандартных компьютерных программ, подробно изложенных в [3]. Телесеизмические и региональные землетрясения обрабатывались с использованием программы WSG (система обработки сейсмических данных), разработанной в Геофизической службе РАН [9]. Для обработки данных, которые поступают в Центр из сети станций, используется программа UniViewer [3–5]. Программа UniViewer предназначена для визуального отображения сейсмических данных, просмотра и регистрации сейсмических событий. Программа работает с двумя типами файлов: с файлами станций SDAS и файлами типа DDB от станций Дельта-03.

Методы определения основных параметров местных землетрясений подробно описаны в [3]. Обработка местных сейсмических событий на станциях Солигорской локальной сети осуществлялась в программе NYPOSAT, которая была адаптирована и предусматривает наряду с региональным годографом [10] применение мирового годографа IASPEI [11]. По времени вступления *P*- и *S*-волн вычислялись очаговые параметры: время t_0 возникновения землетрясения, положение гипоцентра (φ, λ, h). При этом определяются как общая погрешность по времени и положению эпицентра, так и ошибка каждого отдельного вступления.

Классификация землетрясений. В 2013 г. наблюдения сейсмическими станциями в Солигорском районе проводились на поверхности. Энергетический класс определялся по длительности колебаний записи, где t длительность записей от начала колебаний до момента слияния с микросейсмами [3]. Соотношение для определения энергетического класса события по длительности записи в секундах имеет вид:

$$K_d = 7.2 \lg t - 6.8. \quad (1)$$

Определение магнитуд получено пересчетом из энергетических классов K_d по формуле Т.Г. Раутиан [12], в предположении о возможности его использования и для классов K_d :

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

Анализ сейсмичности. Общее число зарегистрированных событий в 2013 г. составило $N=43$ [13]. Из них наименьшее имеет $K_d=4.6$, наибольшее – 8.2. Самое слабое землетрясение зафиксировано 30 декабря в 22^h45^m, наибольшее значение энергетического класса ($K_d=8.2$) отмечено 28 декабря 2013 г. в 16^h03^m. Карта эпицентров всех зарегистрированных событий показана на рис. 2. Распределение числа сейсмических событий по энергетическим классам и суммарной выделившейся сейсмической энергии по месяцам представлено в табл. 1.

Расположение землетрясений по интервалам глубин очагов показано в табл. 2. В основном очаги землетрясений (39) локализованы в верхних слоях земной коры ($h=0-30$ км), остальные (4) зафиксированы в интервале ($h=31-60$ км). Число землетрясений с глубиной гипоцентров $h=0-30$ км увеличилось в 2.79 раза по сравнению с 2012 г. (14) [3].

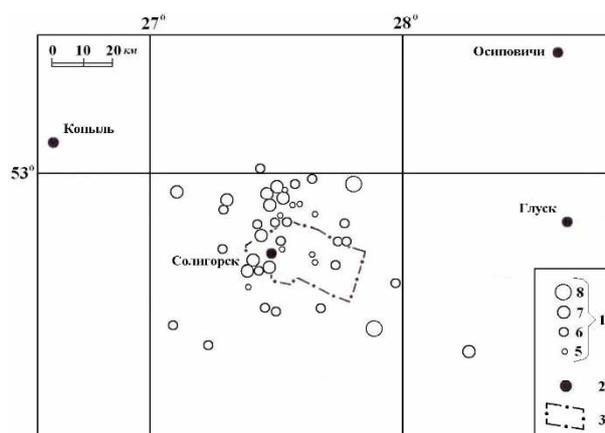


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений произошедших на территории Беларуси за 2013 г.

1 – энергетический класс K_d ; 2 – город; 3 – граница шахтных полей Солигорского горнопромышленного района.

Таблица 1. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_d и суммарная сейсмическая энергия ΣE за январь–декабрь 2013 г.

Месяц	K_d				N_Σ	$\Sigma E,$ 10^9 Дж	Месяц	K_d				N_Σ	$\Sigma E,$ 10^9 Дж
	5	6	7	8				5	6	7	8		
I		1	2		3	0.0199	VIII					0	0.0000
II		1			1	0.0004	IX		2	1		3	0.0225
III	2	2	1		5	0.0290	X	2	1	1		4	0.0152
IV			2		2	0.0113	XI	2	4	1		7	0.0116
V	1	1	1		3	0.0046	XII	1	6	2	1	10	0.2072
VI		1	1		2	0.0205	Всего	9	20	12	2	43	0.4702
VII	1	1		1	3	0.1280							

Таблица 2. Распределение числа землетрясений по интервалам г3лубин h в 2013 г.

$h_1-h_2, \text{ км}$	0–10	11–20	21–30	31–40	41–50	51–60	N_Σ
$N(h)$	21	15	3	3	0	1	43

График повторяемости землетрясений, построенный по данным табл. 1 приведен на рис. 3. Параметры графика повторяемости, рассчитанные для диапазона энергетических классов $K_d=6-8$, имеют вид (3):

$$\lg N = 4.39 - 0.5K_d \quad (3)$$

Наклон графика повторяемости землетрясений за 2013 г. составил по модулю $\gamma = |0.50|$, что немного ниже этого показателя ($\gamma = |0.52|$) за 2012 г. для диапазона ($K_d=6-8$) (4):

$$\lg N = 4.15 - 0.52K_d \quad (4)$$

Рассматривая на рис. 4 ход сейсмического процесса в течение года, можно отметить, что максимумы высвобождения сейсмической энергии приходятся на июль (наличие энергетического класса $K_d=8.1$) и декабрь ($K_d=8.2$), а максимумы числа событий N – на ноябрь и декабрь. В августе землетрясения не зарегистрированы. Минимальные значения выделившейся энергии и числа событий приходятся на февраль.

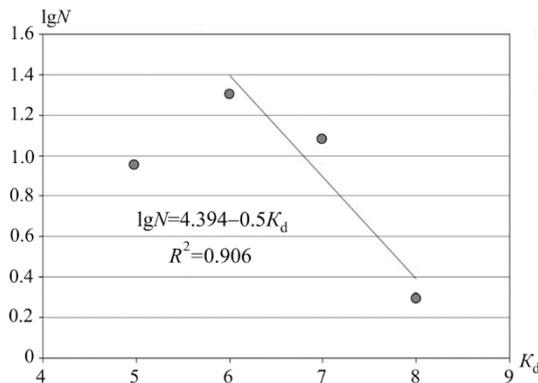


Рис. 3. График повторяемости землетрясений Беларуси в 2013 г.

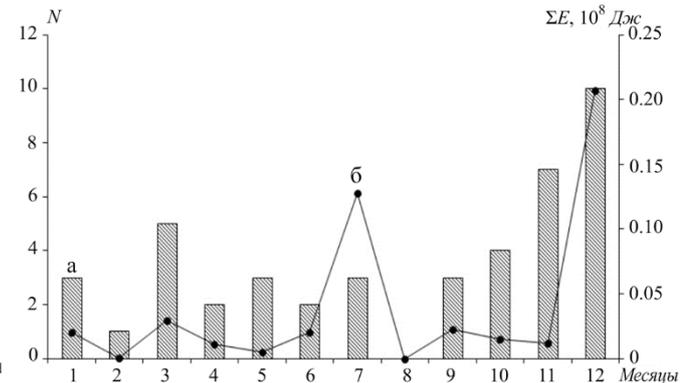


Рис. 4. Распределение числа сейсмических событий (а) и выделившейся энергии (б) за 2013 г.

Сопоставление данных 2013 г. с долговременными средними оценками N и ΣE за период 1983–2012 гг. (табл. 3) показало, что уровень выделившейся в 2013 г. сейсмической энергии, равный $\Sigma E = 0.470 \cdot 10^9 \text{ Дж}$, больше такового в 2012 г. ($\Sigma E = 0.249 \cdot 10^9 \text{ Дж}$ [3]) в 1.89 раза, и в 5.13 раз ниже среднего его значения $\Sigma E = 2.409 \cdot 10^9 \text{ Дж}$ за 30 лет. Число событий в 2013 г. ($\Sigma N = 43$) больше в 2.53 раза, чем в 2012 г. ($\Sigma N = 17$ [3]) и чуть больше, в 1.01 раза, относительно его среднего долговременного значения, равного $\Sigma N = 42.63$.

Таблица 3. Годовые значения числа событий разных энергетических классов K_p и их суммарной сейсмической энергии на территории Беларуси за 1983–2011 гг. и 2012–2013 гг. (K_d)

Год	K_p						N_Σ	$\Sigma E,$ 10^9 Дж	Год	K_p						N_Σ	$\Sigma E,$ 10^9 Дж	
	4	5	6	7	8	9				4	5	6	7	8	9			
1983			8	4	10	1	23	2.238	2001		6	22	20	2		50	0.651	
1984		2	10	21	12		45	2.487	2002	2	13	37	32	6		90	1.112	
1985			1	9	12	1	23	4.975	2003		8	16	26	8		58	1.087	
1986			3	13	29		45	5.281	2004		22	16	14	4		56	0.847	
1987			5	10	5		20	0.969	2005	3	9	14	5	1	1	33	1.390	
1988		7	8	9	2		26	0.518	2006		13	24	14	3		54	0.422	
1989		2	1	2	7		12	1.580	2007		3	12	12	7		34	0.815	
1990		2	17	25	45		89	7.680	2008		15	11	7	2		35	0.428	
1991			6	11	13		30	2.990	2009		1	8	17	5		31	0.796	
1992		1		2	10		13	1.754	2010		2	15	8	2		27	0.287	
1993			2	10	20		32	4.806	2011		4	11	3	1		19	0.299	
1994		1	4	15	16		36	2.709	K_d									
1995		1	6	12	25		44	4.217	2012		2	11	3	1		17	0.249	
1996		1	4	23	45		73	8.080	Сумма	5	146	336	419	370	3	1279	72.283	
1997		17	22	31	11		81	2.254	Среднее за 30 лет	0.17	4.87	11.20	13.97	12.33	0.10	42.63	2.409	
1998		14	22	25	18		79	2.434	2013		9	20	12	2		43	0.470	
1999			15	25	39		79	7.227										
2000			5	11	9		25	1.701										

В целом по региону наблюдается спад суммарной сейсмической энергии после 1999 г. с $\Sigma E=7.227 \cdot 10^9 \text{ Дж}$ с небольшими колебаниями до $\Sigma E=0.249 \cdot 10^9 \text{ Дж}$ в 2012 г., а также почти монотонный спад суммарного числа землетрясений с 2002 г. от $N_\Sigma=90$ до $N_\Sigma=17$ в 2012 г. (табл. 3, рис. 5). В 2013 г. намечился рост значений выделившейся суммарной сейсмической энергии и суммарного числа землетрясений.

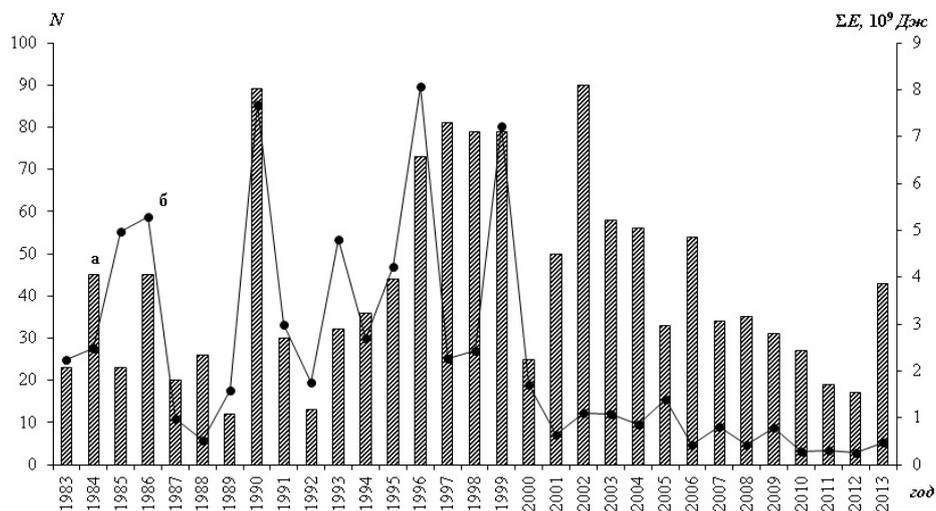


Рис. 5. Распределение числа сейсмических событий (а) и суммарной выделившейся энергии (б) по годам с 1983 г. по 2013 г.

В реальном времени 43 события за 2013 г. развернуты по временной оси на рис. 6, на котором видны три периода затишья: с третьей декады января по вторую декаду февраля, с середины мая до середины июня и с конца июля до начала сентября. Три периода активности наблюдались с марта до середины мая, с третьей декады июня до конца июля, когда 25 июля произошло землетрясение с $K_d=8.1$ [13], с середины октября по конец декабря, когда 28 декабря произошло наибольшее землетрясение ($K_d=8.2$) [13].

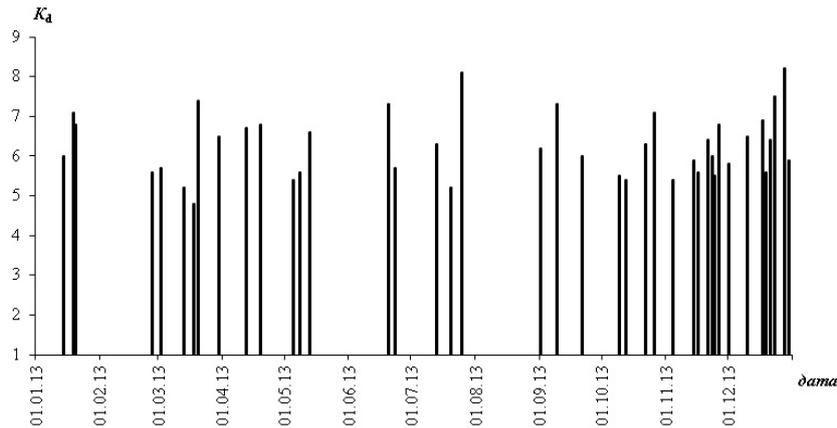


Рис. 6. Развертка сейсмических событий разных классов K_d по временной оси в 2013 г.

Распределение всех 43 событий за 2013 г. по часовым интервалам за сутки показано на рис. 7. На графике видны периоды повышения числа событий в ночное время – 22^h, в дневное время – 11^h и 12^h. На рис. 8 показано распределение всех землетрясений за 2013 г. по дням недели, среди которых максимум преобладает в субботу (12) и понедельник (8), минимум наблюдается в пятницу (2).

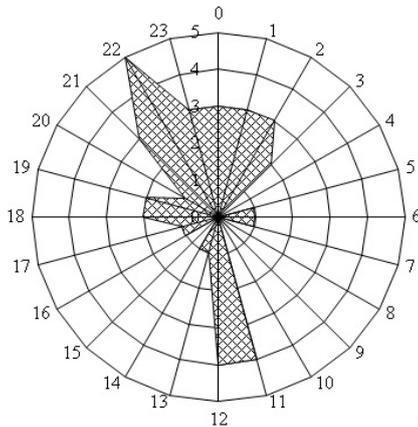


Рис. 7. Реализация сейсмических событий по часам суток в 2013 г.



Рис. 8. Распределение сейсмических событий по дням недели в 2013 г.

Заключение. Обзор сейсмичности территории Беларуси за год представлен на основе анализа работы данных двух аналоговых и 18 цифровых станций. Обработка землетрясений осуществлялась с помощью современных стандартных компьютерных программ. В 2013 г. на территории Беларуси зарегистрировано 43 сейсмических события с $K_d=4.6–8.2$. По-прежнему природная сейсмическая активность наблюдается в южной части, включая Солигорский горно-промышленный район. Анализ сейсмичности показал, что уровень сейсмической активности в 2013 г. повысился относительно такового в 2012 г., но остается ниже среднего за много лет. В целом можно отметить, что 2013 г. в сейсмическом отношении был достаточно спокойным.

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. Махнача [и др.]. – Минск: ИГН НАН Беларуси, 2001. – 815 с.
3. 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.

4. **Аронов А.Г.** Система сейсмологического мониторинга в Беларуси // Вестник НЯЦ РК. – 2016. – Вып. 2 (66), июнь 2016. – С. 32–37.
5. **Аронов А.Г., Аронов В.А.** Особенности организации сейсмологической сети в Беларуси // Геориск. – 2017. – №. 1. – С. 40–46.
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. **Сероглазов Р.Р., Колковский В.М., Аронов Г.А. (сост.).** Сейсмические станции Беларуси в 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – Приложение на CD_ROM.
9. **Акимов А.П., Красилов С.А., Пойгина С.Г.** Система обработки сейсмических данных WSG. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/wsg/WSG/DOC/WSG_adm.doc
10. **Аронов А.Г.** Региональные годографы сейсмических волн запада Восточно-Европейской платформы // Сейсмологический бюллетень. – Минск: ОКЖИОП, 1996. – С. 136–149.
11. **Kennet B.L.N. (editor).** IASPEI 1991 Seismological Tables. – Sydney: Research School of Earth Sciences Australian National University, 1991. – 167 p.
12. **Раутман Т.Г.** Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности (Тр. ИФЗ АН СССР, № 9(176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
13. **Аронова Т.И. (отв. сост.), Ацута О.Н., Аронов В.А. (сост.).** Каталог землетрясений Беларуси за 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – Приложение на CD_ROM.

METADATA IN ENGLISH

BELARUS

T.I. Aronova, R.R. Seroglazov, G.A. Aronov, O.N. Atsuta, V.A. Aronov

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

Abstract. The annual review of seismicity in the territory of Belarus based on the data of two analog and eighteen digital stations is presented. Forty three events with $K_d=4.6-8.2$ were recorded. These were attributed to the southern part of the territory, which includes the Soligorsk mining area. The map of epicenters of all the events and the table showing their distribution by months are presented. The $N(K)$ function for 2013 was compared with those for 1983–2012. The amount of seismic energy released in 2013 is 1.89 times higher than in 2012 and 5.13 times lower than its average value for previous 30 years. The distribution of the events according to their energy classes and total seismic energy by months in 2013 as well as for the period of 31 years since 1983 till 2013 was provided. The time history, time of day and day of week distributions of seismicity recorded in 2013 are presented.

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

DOI: 10.35540/1818-6254.2019.22.21

For citation: Aronova, T.I., Seroglazov, R.R., Aronov, G.A., Atsuta, O.N., & Aronov, V.A. (2019). Belarus. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), 240–246. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.21

References

1. Aronov, A.G., Seroglazov, R.R., & Aronova, T.I. (2009). [Seismicity and seismotectonics]. In *Seismotektonika plit drevnikh platform v oblasti chetvertichnogo oledineniya* [Seismotectonics of the Plates of the Old Platforms within an Area of the Quarternary Glaciation] (pp. 122–137). Moscow: Kniga i Biznes Publ. (In Russ.).

2. Makhnach, A.S., Goretsky, G.I., Matvejeva, A.V., & Anoshko, J.I. (2001). *Geologiya Belarusi* [Geology of Belarus]. Minsk: The Institute of Geological Science, 815 p. (In Russ.).
3. Aronov, A.G., Seroglazov, R.R., Aronova, T.I., Kolkovsky, V.M., Aronov, V.A., Atsuta, O.N., & Aronov, G.A. (2012). Belarus. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), 218–227. (In Russ.).
4. Aronov, A.G. (2016) [System of seismological monitoring in Belarus]. *Vestnik NAZ PK*. [Oil Industry], 2 (66), 32–37. (In Russ.).
5. Aronov, A.G., & Aronov, V.A. (2017). [Some features of seismological networking in Belarus]. *GeoRisk*. [Oil Industry], 1, 40–46 (In Russ.).
6. *Registrator seismicheskikh signalov "Delta-03". Rukovodstvo po ekspluatatsii ITLIA. 416611.004 RE.* (2007). [Seismic signal recorder "Delta-03". Operations Manual]. Moscow, 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. Seroglazov, R.R., Kolkovsky, V.M., & Aronov, G.A. (2019). Seismic Stations of Belarus in 2013. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), Appendix on CD. (In Russ.).
9. Akimov, A.P., Krasilov, S.A., & Poigina, S.G. (2007). [Seismic Data Processing System WSG] *Sistema obrabotki seismicheskikh dannykh WSG*. Retrieved from ftp://ftp.gsras.ru/pub/wsg/WSG/DOC/WSG_adm.doc
10. 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. (In Russ.).
11. Kennet, B.L.N. (1991). IASPEI 1991 Seismological Tables. Sydney: Research School of Earth Sciences Australian National University.
12. Rautyan, T.G. (1960). [Earthquake energy]. *Trudy IFZ AN SSSR* [Proceedings of the IPF of the USSR Academy of Sciences], 9 (176), 75–114.
13. Aronova, T.I., Atsuta, O.N., Aronov, V.A. (2019). Catalogue of the Earthquakes of Belarus in 2013. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22(2013), Appendix on CD. (In Russ.).