

СЕЙСМИЧНОСТЬ на ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ в 2016–2017 гг.**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 2016–2017 гг. на основе данных 17 цифровых станций. В 2016 г. зарегистрировано 64 события с $K_d=4.7–8.3$, а в 2017 г. – 42 события с $K_d=5.2–8.6$. Все землетрясения проявились в южной части зоны ответственности, включающей Солигорский горнопромышленный район. Сравнение параметров $N(K)$ и ΣE с долговременными средними оценками показало, что уровень выделившейся сейсмической энергии в 2016 г. и 2017 гг. остается пониженным. Число событий за анализируемый период соответствует средним долговременным фоновым значениям. За долговременный период 1983–2017 гг. наблюдается отсутствие устойчивой корреляции между выделенной энергией и числом событий.

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

DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.18 **EDN:** VTXEAR

Для цитирования: Аронова Т.И., Аронов Г.А., Протасовицкая Т.А., Аронов А.Г. Сейсмичность на территории Беларуси в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 206–212. DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.18. EDN: VTXEAR

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 2016–2017 гг., 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 2016–2017 гг. наблюдения проводились на станциях «Минск» (MIK) и «Нарочь» (NAR), где установлены регистраторы сейсмических сигналов цифровых станций «SDAS» (Seismic digital acquisition station) российского производства, изготовленные фирмой «Геотех+» (г. Обнинск) [4] с широкополосными сейсмодатчиками CM-3-OC. Продолжили работу восемь станций Солигорской локальной сети: «Волоты» (VOL), «Тесово» (TES), «Устронь» (UST), «Чижовка» (CHJ), Копачевичи (KAP), Новый луг (NVL), «Махновичи» (MAH), «Листопадовичи» (LST) и семь станций Островецкой локальной 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.

На Солигорской и Островецкой локальных сетях непрерывные наблюдения проводились аппаратурой, состоящей из регистраторов сейсмических сигналов «Дельта-03» (изготовитель – фирма «ГЕОТЕХ», Россия [5]) и короткопериодных сейсмоприемников «Le 3DLite» (изготовитель –

фирма «LENNARTZ», Германия [6]). Все цифровые станции работали в режиме on-line с непрерывной передачей информации через мобильную сеть в центр сбора информации в г. Минск.

Расположение всех сейсмических станций показано на рис. 1. Сведения обо всех станциях и параметрах регистрирующей аппаратуры приведены в электронном приложении [7] к настоящему выпуску журнала.

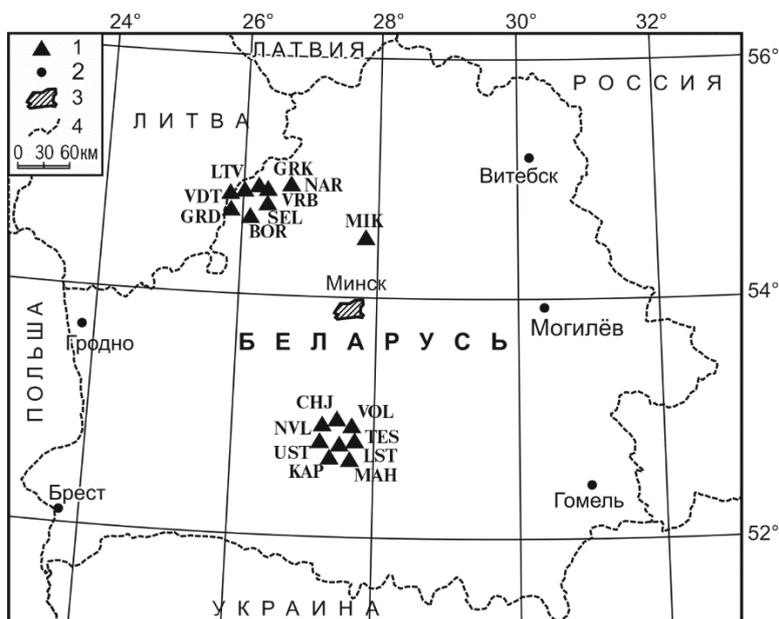


Рис. 1. Сеть сейсмических станций Беларуси в 2016–2017 гг., внешняя рамка карты соответствует границе зоны ответственности территории Беларуси

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 [8]. Телесеismicкие и региональные землетрясения обрабатывались с использованием программы WSG (система обработки сейсмических данных), разработанной в ГС РАН [9], и пакета компьютерных программ из [10], 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 [11], в программе предусмотрено применение мирового годографа IASPEI [12].

Энергетический класс сейсмических событий K_d определялся по длительности колебаний на записи, где τ – длительность записи от начала колебаний до момента слияния с микросейсмами [8, 13]. Соотношение (1) между длительностью записи τ (с) и энергетическим классом $K_P=K_d$ было получено экспериментально [8] в виде:

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

Определение расчетных магнитуд получено традиционно [8, 14] пересчетом из энергетических классов K_d по формуле Т.Г. Раутиан из [15], в предположении о возможности ее использования и для классов K_d :

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

Каталог землетрясений. На территории Беларуси сейсмическими станциями в 2016–2017 гг. было зарегистрировано 106 землетрясений с $K_d=4.7-8.6$ и с определением всех параметров [16].

В 2016 г. произошло 64 землетрясения с $K_d=4.7-8.3$. Максимальное землетрясение с $K_d=8.3$ отмечено 2 марта в 04^h39^m в 20 км к северо-востоку от г. Солигорска и в 3 км к юго-западу от д. Дарасино. В 2017 г. зарегистрировано 42 землетрясения с $K_d=5.2-8.6$. Самое сильное землетрясение с $K_d=8.6$ произошло 7 июля в 15^h48^m в 5 км к северо-востоку от г. Старобин и в 6 км к юго-западу от г. Солигорска. Сведений об ощутимости сотрясений от указанных землетрясений не поступало.

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.

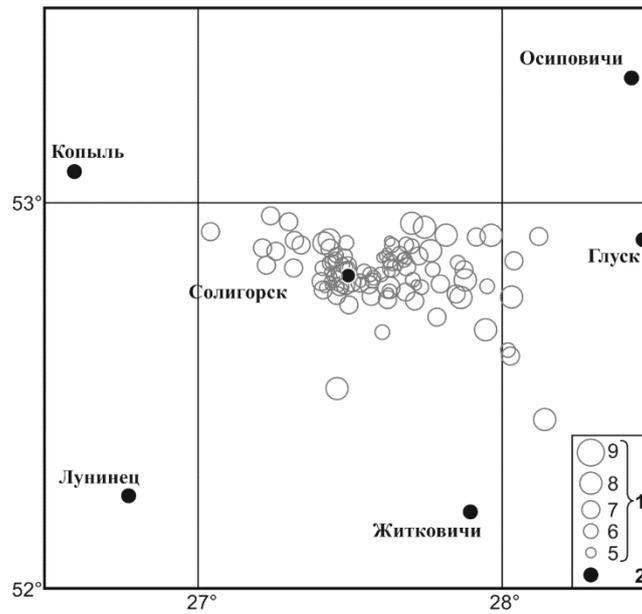


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений в Беларуси за 2016–2017 гг.

1 – энергетический класс K_d ; 2 – город.

Распределение числа сейсмических событий по энергетическим классам K_d и суммарной выделившейся сейсмической энергии по месяцам за 2016 г. представлено в табл. 1, а за 2017 г. – в табл. 2.

Таблица 1. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_d и суммарная сейсмическая энергия ΣE за январь–декабрь 2016 г.

Месяц	K_d					N_Σ	$\Sigma E,$ 10^9 Дж
	5	6	7	8	9		
I	3	2	2	–	–	7	0.0334
II	–	7	2	–	–	9	0.0657
III	–	4	3	4	–	11	0.5932
IV	–	2	4	1	–	7	0,2271
V	–	3	5	–	–	8	0,1228
VI	–	2	2	1	–	5	0.1358
VII	–	–	1	1	–	2	0.0916
VIII	–	1	4	1	–	6	0.1403
IX	–	1	–	2	–	3	0.2761
X	–	–	2	–	–	2	0.0423
XI	–	1	1	–	–	2	0.0064
XII	–	1	1	–	–	2	0.0198
Всего	3	24	27	10	–	64	1.7544

Таблица 2. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_d и суммарная сейсмическая энергия ΣE за январь–декабрь 2017 г.

Месяц	K_d					N_Σ	$\Sigma E,$ 10^9 Дж
	5	6	7	8	9		
I	–	–	4	–	–	4	0.0969
II	–	2	–	1	–	3	0.1468
III	–	–	2	–	–	2	0.0286
IV	–	1	3	–	–	4	0.0548
V	1	2	1	–	–	4	0.0213
VI	–	4	1	–	–	5	0.0339
VII	–	–	2	1	1	4	0.6601
VIII	–	1	1	–	–	2	0.0137
IX	–	2	3	–	–	5	0.0648
X	–	–	2	–	–	2	0.0140
XI	–	1	1	1	–	3	0.0847
XII	–	–	1	3	–	4	0.2878
Всего	1	13	21	6	1	42	1.5073

Рассматривая ход сейсмического процесса в течение 2016–2017 гг., можно отметить, что он развивался неравномерно. Максимум высвобождения сейсмической энергии в 2016 г. приходится на март ($\Sigma E=0.5932 \cdot 10^9 \text{ Дж}$), в 2017 г. – на июль ($\Sigma E=0.6601 \cdot 10^9 \text{ Дж}$). Максимум числа событий в 2016 г. наблюдался в марте (11), а в 2017 г. – в июне и сентябре (5).

Распределение землетрясений по интервалам глубин в 2016–2017 гг. показано в табл. 3. Как видно из таблицы, большинство землетрясений локализовано в слоях земной коры с $h=11\text{--}30 \text{ км}$. Погрешность определения глубин гипоцентров находится в пределах $\delta=\pm(0,21\text{--}9,94) \text{ км}$ [16]. Приуроченность максимума числа событий к средним этажам глубин земной коры ($h=11\text{--}30 \text{ км}$) свидетельствует в пользу тектонической, а не техногенной природы зарегистрированных сейсмических событий.

Таблица 3. Распределение числа землетрясений по интервалам глубин h в 2016–2017 гг.

$h_1\text{--}h_2, \text{ км}$	0–10	11–20	21–30	31–40	N_Σ
$N(h)$	12	31	39	24	106

График повторяемости землетрясений, характеризующий представительность регистрации на рассматриваемой территории, построен за период 2016–2017 гг. и представлен на рис. 3. Излом графика приходится на $K_d=7$, что позволяет считать землетрясения с $K_d=7\text{--}8$ представительными на рассматриваемой территории в указанный период. Для представительных землетрясений с $K_d=7\text{--}8$ получено уравнение:

$$\lg N = 5.02 - 0.48K_d \quad (3)$$

с наклоном графика повторяемости $\gamma=-0.48$.

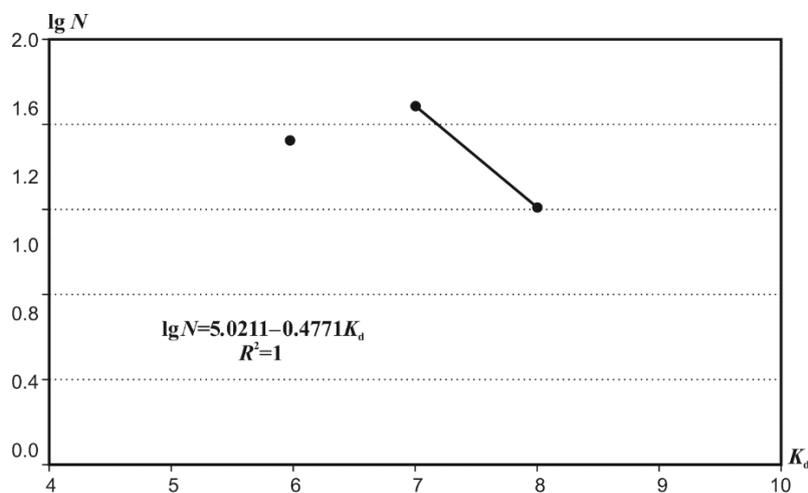


Рис. 3. График повторяемости землетрясений Беларуси за 2016–2017 гг.

Сопоставление данных за 2016 г. и 2017 г. с долговременными среднегодовыми оценками N_{Σ} и ΣE за период 1983–2015 гг. [14] показано в табл. 4.

Таблица 4. Годовые значения N числа сейсмических событий разных энергетических классов K_d и их суммарной сейсмической энергии ΣE на территории Беларуси за 2015, 2016 и 2017 гг. в сравнении с суммарными и средними значениями за 1983–2015 и 1983–2016 гг.

Год	K_d						N_{Σ}	$\Sigma E, 10^9 \text{ Дж}$
	4	5	6	7	8	9		
2015	–	7	37	32	4	–	80	1.059
Сумма за 1983–2015 гг.	5	178	420	473	379	4	1459	74.956
Среднее за 33 года	0.15	5.39	12.73	14.33	11.48	0.12	44.21	2.271
2016	–	3	24	27	10	–	64	1.754
Сумма за 1983–2016 гг.	5	181	444	500	389	4	1523	76.711
Среднее за 34 года	0.15	5.32	13.06	14.71	11.44	0.12	44.79	2.256
2017	–	1	13	21	6	1	42	1.507

Сравнение параметров N_{Σ} и ΣE за 2016 г. ($\Sigma E=1.754 \cdot 10^9 \text{ Дж}$, $N_{\Sigma}=64$) и 2017 г. ($\Sigma E=1.507 \cdot 10^9 \text{ Дж}$, $N_{\Sigma}=42$) с долговременными средними оценками показало, что уровень выделившейся сейсмической энергии остается пониженным. Число событий за анализируемый период близко к среднему долговременному фоновому значению ($N_{\Sigma} \approx 44$).

В целом по региону после 1999 г. наблюдался спад суммарной сейсмической энергии от $\Sigma E=7.227 \cdot 10^9 \text{ Дж}$ в 1999 г. до $\Sigma E=0.249 \cdot 10^9 \text{ Дж}$ в 2012 г., а также почти монотонный спад суммарного числа землетрясений с 2002 г. ($N_{\Sigma}=90$) по 2012 г. ($N_{\Sigma}=17$) (рис. 4). В 2013–2014 гг. отмечался рост значений выделившейся суммарной сейсмической энергии и суммарного числа землетрясений. В 2015 г. продолжился рост суммарного числа землетрясений, но произошел небольшой спад суммарной сейсмической энергии. В 2016 г. выделившаяся сейсмическая энергия возросла, а в 2017 г. отмечен ее спад. В 2016–2017 гг. отмечено также снижение суммарного числа землетрясений относительно 2015 года. Следует отметить отсутствие устойчивой корреляции между этими двумя параметрами как в 2016–2017 гг., так и за длительный период 1983–2017 гг.

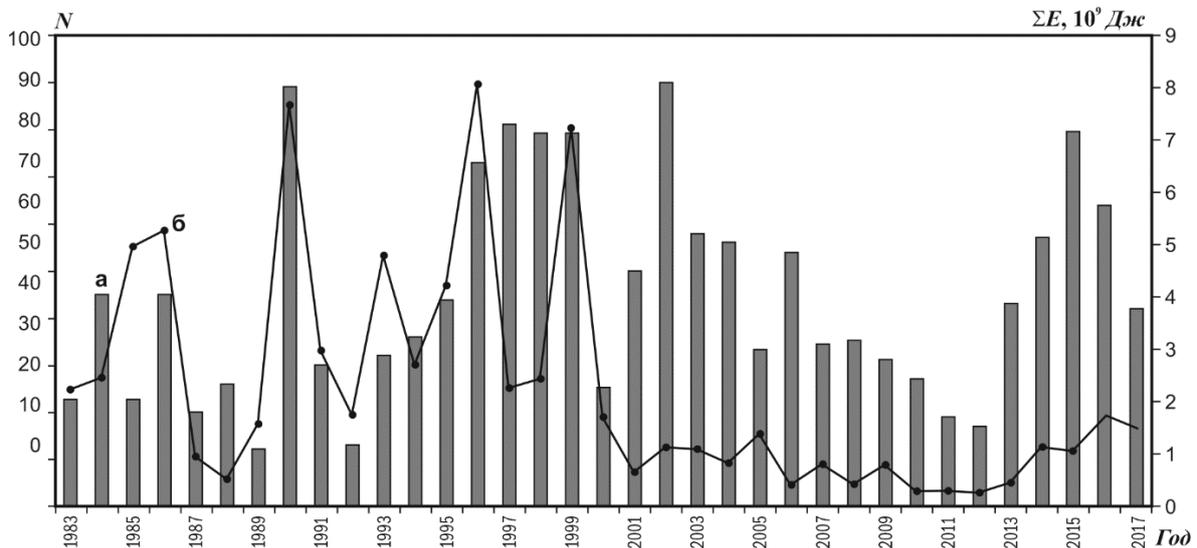


Рис. 4. Распределение числа сейсмических событий (а) и суммарной выделившейся энергии (б) по годам с 1983 г. по 2017 г.

Заключение. Обзор сейсмичности территории Беларуси за 2016–2017 гг. представлен на основе анализа данных 17 цифровых станций. Все 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 2016 г. на территории Беларуси зарегистрировано 64 землетрясения с $K_d=4.7-8.3$, в 2017 г. – 42 землетрясения с $K_d=5.2-8.6$. Анализ показал, что в 2016–2017 гг. уровень выделившейся сейсмической энергии продолжал повышение, начавшееся в 2013 г., но все еще оставался ниже среднего за много лет.

По-прежнему природная сейсмическая активность наблюдается в южной части территории, включая Солигорский горнопромышленный район. Происходящие здесь сейсмические события 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.

Л и т е р а т у р а

1. Аронов А.Г., Сероглазов Р.Р., Аронова Т.И. Сейсмичность и сеймотектоника // Сеймотектоника 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. 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. Регистратор сейсмических сигналов «Дельта-03». Руководство по эксплуатации. ИТЛЯ. 416611.004 РЭ. – М.: 2007. – 20 с.
6. Техническая документация фирмы «Lennartz electronic GmbH». LE-xD Seismometer Family, DN: 990-0073. – Tübingen, Germany, 2012. – 30 с.
7. Аронов А.Г., Аронов Г.А. Сейсмические станции Беларуси в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Аронов А.Г. Региональные годографы сейсмических волн запада Восточно-Европейской платформы // Сейсмологический бюллетень. – Минск: ОКЖИОП, 1996. – С. 136–149.
12. Kennet B.L.N. IASPEI 1991 Seismological Tables. – Sydney, Australia: Research School of Earth Sciences Australian National University, 1991. – 167 p.
13. Маламуд А.С. Использование длительности колебаний для энергетической классификации землетрясений // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений, Т. II. – М.: АН СССР, 1974. – С. 180–194.
14. 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
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 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>

SEISMICITY of the TERRITORY of BELARUS in 2016–2017**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. A review of seismicity in the territory of Belarus for 2016–2017 based on the data of 17 digital stations is presented. 64 events with $K_d=4.7–8.3$ and 42 events with $K_d=5.2–8.6$ were recorded for 2016 and 2017 respectively. All events were confined to the southern part of the territory, including the Soligorsk mining area. A comparison of N_E and ΣE for 2016 and 2017 with the long-term average values shows that the level of the seismic energy released in 2016 and 2017 was reduced. The number of events for 2016–2017 corresponds to the long-term average background values. There is no stable correlation between the released seismic energy and the number of earthquakes for the long-term period of 1983–2017.

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

DOI: DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.18 **EDN:** BTXEAR

For citation: Aronova, T.I., Aronov, G.A., Protasovitskaya, T.A., & Aronov, A.G. (2022). [Seismicity of the territory of Belarus in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017), 206–212. (In Russ.). DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.18. EDN: BTXEAR

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., Goretsky, 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. *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.).
6. *Technical Documentation «Lennartz electronic GmbH».* (2012). LE-xD Seismometer Family, DN: 990-0073. Tübingen, Germany, 30 p. (In Russ.).
7. Aronov, A.G., & Aronov, G.A. (2022). [Seismic Stations of Belarus in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
8. Aronov, A.G., Seroglazov, R.R., Aronova, T.I., Kolkovskiy, 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.).
9. 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.).
10. [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.).
11. 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.).
12. Kennet, B.L.N. (1991). IASPEI 1991 Seismological Tables. Sydney, Australia: Research School of Earth Sciences Australian National University, 167 p.
13. 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.).
14. 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
15. Rautian, T.G. (1960). [Energy of earthquakes]. In *Metody detal'nogo izucheniya seismichnosti (Trudy IFZ AN SSSR, № 9(176))* [Methods of Detail Study of Seismicity] (pp. 75–114). Moscow, Russia: Inst. Fiz. Zemli Akad. Nauk SSSR Publ. (In Russ.).
16. Aronova, T.I., Killiar O.N., & Aronov, V.A. (2022). [Catalogue of the Earthquakes of Belarus in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).