

УДК 550.348 (476)

**СЕЙСМИЧНОСТЬ на ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ в 2018–2019 гг.****Т.И. Аронова, Г.А. Аронов, О.В. Захаревич, А.Г. Аронов***Центр геофизического мониторинга Национальной академии наук Беларуси,  
г. Минск, Беларусь, info@cgm.by*

**Аннотация.** Представлен обзор сейсмичности территории Беларуси в 2018–2019 гг. на основе данных 17 цифровых станций. В 2018 г. зарегистрировано 72 события с  $K_d=4.9–8.6$ , а в 2019 г. – 69 событий с  $K_d=4.9–8.2$ . Все землетрясения локализованы в южной части зоны ответственности, включающей Солигорский горнопромышленный район. Сравнение параметров  $N_E$  и  $\Sigma E$  за 2018 г. и 2019 г. с долговременными среднегодовыми оценками показало, что уровень выделившейся сейсмической энергии в 2018 г. и 2019 г. оставался пониженным, тогда как число событий за анализируемые периоды превышало фоновые значения. За долговременный период 1983–2019 гг. наблюдается отсутствие устойчивой корреляции между выделенной энергией и числом событий.

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

**Для цитирования:** Аронова Т.И., Аронов Г.А., Захаревич О.В., Аронов А.Г. Сейсмичность на территории Беларуси в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 217–224. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.18> EDN: SNZIXK

**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 2018–2019 гг., приурочены к зоне сочленения северо-западной части Припятского прогиба и Белорусской антеклизы, включающей 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.

В настоящей статье представлены сведения о сейсмичности на территории Беларуси в 2018–2019 гг. Основными задачами исследования являлись: сводная обработка результатов мониторинга землетрясений, составление каталогов сейсмических событий и параметров аппаратуры на регистрирующих станциях, интерпретация полученных материалов и описание сейсмичности территории Беларуси в 2018–2019 гг.

**Сеть сейсмических станций.** В 2018–2019 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 СМ-3-ОС. На сейсмических станциях произошли следующие изменения: 15 августа 2018 г. на станции Минск (MIK) и 8 сентября 2019 г. на станции Нарочь (NAR) были сняты цифровые станции SDAS, т.к. физический износ аппаратуры не позволил их дальнейшую эксплуатацию. 15 июля 2018 г. на станции Минск (MIK) и 14 августа 2019 г. на станции Нарочь (NAR) были установлены цифровые станции

Centaur [5] с широкополосными сейсмометрами Trillium 120 (модель T120-QA-SV1) производства «Nanometrics», Канада [6]. На чувствительности белорусской сейсмологической сети эти изменения не сказались.

Продолжили работу восемь сейсмических станций Солигорской локальной сети: Волоты (VOL), Тесово (TES), Устронь (UST), Чижовка (CHJ), Копацевичи (KAP), Новый луг (NVL), Махновичи (MAH), Листопадовичи (LST) и семь сейсмических станций Островецкой локальной сети: Градовщица (GRD), Вадатишки (VDT), Бояры (BOR), Селище (SEL), Горная Каймина (GRK), Воробы (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 [7]) и короткопериодных сейсмоприемников Le 3DLite (изготовитель – фирма «LENNARTZ», Германия [8]). 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 обо всех станциях и параметрах регистрирующей аппаратуры приведены в электронном приложении [9] к настоящему выпуску ежегодника.

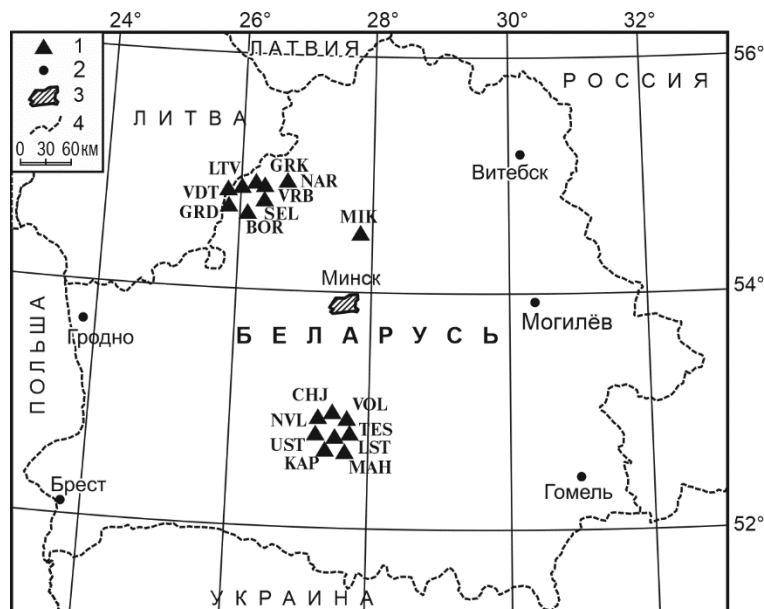


Рис. 1. Сеть сейсмических станций Беларуси в 2018–2019 гг., внешняя рамка карты соответствует границе зоны ответственности территории «Беларусь»

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 [10]. Телесеismicкие и региональные землетрясения обрабатывались с использованием программы WSG (система обработки сейсмических данных), разработанной в ФИЦ ЕГС РАН [11], и пакета компьютерных программ из [12], 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 Centaur, файлов типа DDB со станций Дельта-03; EmuEq – решение прямой задачи распространения сейсмических волн).

Программа NYPOSAT 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 ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ), а также погрешности – как общая погрешность  $\delta t_0$  по времени  $t_0$  в очаге и погрешности

$\delta\varphi^\circ$ ,  $\delta\lambda^\circ$ ,  $\delta h$  по положению гипоцентра ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ), так и ошибка каждого отдельного вступления. Наряду с региональным годографом [13], в программе предусмотрено применение глобального годографа IASPEI [14].

Энергетический класс сейсмических событий  $K_d$  определялся по длительности колебаний на записи, где  $\tau$  – длительность записи от начала колебаний до момента слияния с микросейсами [10, 15]. Соотношение (1) между длительностью записи  $\tau$  (сек) и энергетическим классом  $K_p=K_d$  было получено экспериментально [10] в виде:

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

Определение расчетных магнитуд получено традиционно [10, 16] пересчетом из энергетических классов  $K_d$  по формуле Т.Г. Раутиан из [17], 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 2018–2019 гг. было зарегистрировано 141 землетрясение с  $K_d=4.9$ –8.6 и определены их параметры [18].

В 2018 г. произошло 72 землетрясения с  $K_d=4.9$ –8.6. Самое слабое событие с  $K_d=4.9$  зафиксировано 18 сентября в 02<sup>h</sup>59<sup>m</sup>, а максимальное землетрясение с  $K_d=8.6$  отмечено 17 января в 15<sup>h</sup>59<sup>m</sup>. Оно произошло в 5 км к востоку от д. Зажевичи и в 12 км к юго-востоку от г. Солигорска. Сведений об ощутимости сотрясений от этого землетрясения не поступало.

В 2019 г. произошло 69 землетрясений с  $K_d=4.9$ –8.2. Самое слабое землетрясение с  $K_d=4.9$  зафиксировано 7 сентября в 20<sup>h</sup>59<sup>m</sup>, а максимальное событие с  $K_d=8.2$  отмечено 5 июля в 04<sup>h</sup>39<sup>m</sup>. Оно локализовано в 4 км к западу от д. Рачень и в 17 км к юго-востоку от г. Солигорска. Сведений об ощутимости сотрясений от этого землетрясения не поступало.

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

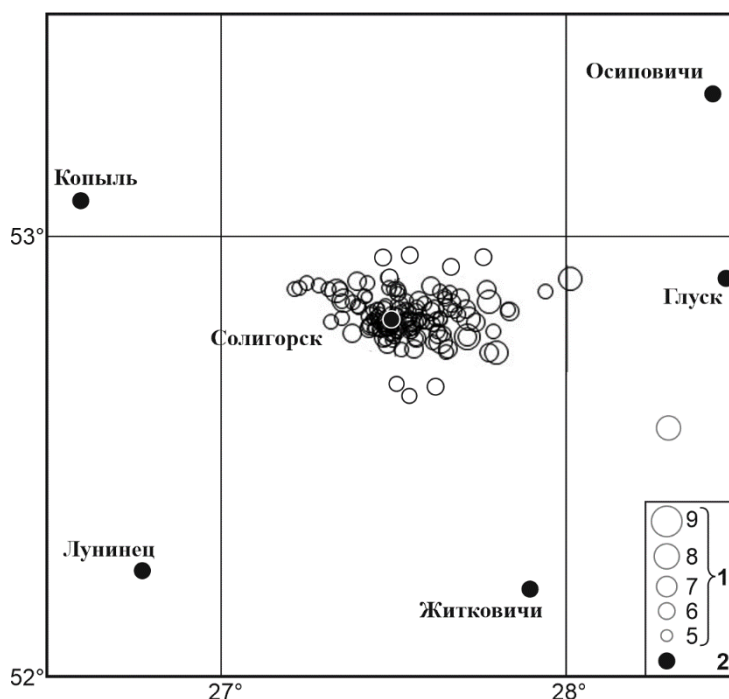


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений в Беларуси за 2018–2019 гг.

1 – энергетический класс  $K_d$ ; 2 – город.

Распределение числа сейсмических событий по энергетическим классам  $K_d$  и суммарной выделившейся сейсмической энергии по месяцам за 2018 г. представлено в табл. 1, а за 2019 г. – в табл. 2.

**Таблица 1.** Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_d$  и суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  за январь–декабрь 2018 г.

Месяц	$K_d$					$N_\Sigma$	$\Sigma E,$ $10^9 \text{ Дж}$
	5	6	7	8	9		
I	–	2	2	–	1	5	0.4797
II	–	–	1	–	–	1	0.0069
III	–	1	2	2	–	5	0.5475
IV	–	3	–	–	–	3	0.0067
V	–	5	1	–	–	6	0.0204
VI	2	5	–	–	–	7	0.0104
VII	2	3	2	1	–	8	0.0802
VIII	1	3	–	–	–	4	0.0076
IX	1	5	2	–	–	8	0.0284
X	–	6	1	2	–	9	0.2832
XI	1	3	3	–	–	7	0.0629
XII	–	6	3	–	–	9	0.0530
Всего	7	42	17	5	1	72	1.5869

**Таблица 2.** Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_d$  и суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  за январь–декабрь 2019 г.

Месяц	$K_d$					$N_\Sigma$	$\Sigma E,$ $10^9 \text{ Дж}$
	5	6	7	8	9		
I	1	6	–	–	–	7	0.0097
II	–	3	1	1	–	5	0.0565
III	–	4	–	–	–	4	0.0092
IV	–	3	2	–	–	5	0.0411
V	–	5	1	–	–	6	0.0272
VI	–	6	2	–	–	8	0.0441
VII	–	2	4	2	–	8	0.2569
VIII	2	4	1	–	–	7	0.0186
IX	2	3	2	–	–	7	0.0313
X	1	4	1	–	–	6	0.0209
XI	–	1	–	–	–	1	0.0032
XII	–	3	2	–	–	5	0.0383
Всего	6	44	16	3	–	69	0.5571

Рассматривая ход сейсмического процесса в течение 2018–2019 гг., можно отметить, что он неравномерен во времени. Максимум высвобождения сейсмической энергии в 2018 г. приходится на март ( $\Sigma E=0.5475 \cdot 10^9 \text{ Дж}$ ), а в 2019 г. – на июль ( $\Sigma E=0.2569 \cdot 10^9 \text{ Дж}$ ). Максимум числа событий в 2018 г. наблюдался в октябре и декабре ( $N=9$ ), а в 2019 г. – в июне и июле ( $N=8$ ).

Распределение землетрясений по интервалам глубин в 2018–2019 гг. показано в табл. 3. Как видно из таблицы, большинство землетрясений (114) приурочено к промежутку земной коры с  $h=11$ – $30 \text{ км}$ . Погрешность определения глубин гипоцентров находится в пределах  $\delta=\pm(1.20$ – $10.13) \text{ км}$  [18].

Приуроченность максимума числа толчков к средним глубинам земной коры ( $h=11$ – $30 \text{ км}$ ) свидетельствует в пользу тектонической, а не техногенной природы зарегистрированных сейсмических событий.

**Таблица 3.** Распределение числа землетрясений по интервалам глубин  $h_1$ – $h_2$  в 2018–2019 гг.

$h_1$ – $h_2, \text{ км}$	0–10	11–20	21–30	31–40	$N_\Sigma$
$N(h)$	14	62	52	13	141

График повторяемости землетрясений, характеризующий представительность регистрации землетрясений на рассматриваемой территории, построен за период 2018–2019 гг. и представлен на рис. 3. Для его линейной части получено уравнение:

$$\lg N = 5.062 - 0.5157 \cdot K_d. \quad (3)$$

Угол наклона графика повторяемости составил по модулю  $\gamma=|0.52|$  в диапазоне  $K_d=6-8$ , а точка перегиба на  $K_d=6$  позволяет считать, что представительными для региона были землетрясения с энергетическими классами  $K_d \geq 6$ .

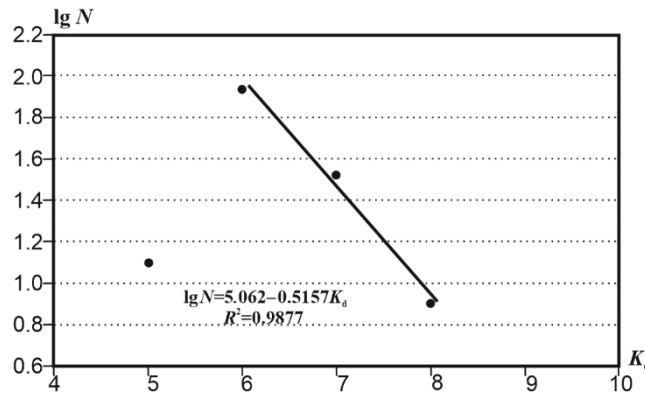


Рис. 3. График повторяемости землетрясений Беларуси за 2018–2019 гг.

Сопоставление данных за 2018 г. и 2019 г. со среднегодовыми долговременными оценками  $N_\Sigma$  и  $\Sigma E$  за предшествующие 35 лет [16] показано в табл. 4. Сравнение числа землетрясений  $N_\Sigma$  и выделившейся сейсмической энергии  $\Sigma E$  за 2018 г. ( $N_\Sigma=72$ ,  $\Sigma E=1.587 \cdot 10^9$  Дж) и 2019 г. ( $N_\Sigma=69$ ,  $\Sigma E=0.557 \cdot 10^9$  Дж) со средними долговременными оценками ( $N_\Sigma=44.71$ ,  $\Sigma E=2.217 \cdot 10^9$  Дж) показало, что уровень выделившейся сейсмической энергии оставался несколько пониженным, тогда как число событий как в 2018 г., так и в 2019 г. возросло относительно их долговременных фоновых значений.

Таблица 4. Годовые значения числа  $N$  сейсмических событий разных энергетических классов  $K_d$  и их суммарной сейсмической энергии  $\Sigma E$  на территории Беларуси за 2017, 2018 и 2019 гг., суммарные и средние значения за 1983–2017 гг.

Год	$K_d$						$N_\Sigma$	$\Sigma E$ , $10^9$ Дж
	4	5	6	7	8	9		
2017	–	1	13	21	6	1	42	1.507
Сумма за 1983–2017 гг.	5	182	457	521	395	5	1565	78.218
Среднее за 35 лет	0.14	5.20	13.06	14.89	11.29	0.14	44.71	2.235
2018	–	7	42	17	5	1	72	1.587
2019	–	6	44	16	3	–	69	0.557

В целом по региону после 1999 г. наблюдался спад суммарной сейсмической энергии от  $\Sigma E=7.227 \cdot 10^9$  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. 4). В 2013–2014 гг. отмечался рост значений выделившейся за год суммарной сейсмической энергии и суммарного годового числа землетрясений. В 2018 г. выделившаяся сейсмическая энергия возросла относительно 2017 г., а в 2019 г. отмечен ее спад. В 2018 г. отмечен также рост суммарного числа землетрясений относительно предыдущего года, а в 2019 г. – небольшое снижение.

Следует отметить отсутствие устойчивой корреляции между этими двумя параметрами как в 2018–2019 гг., так и за длительный период, 1983–2019 гг.

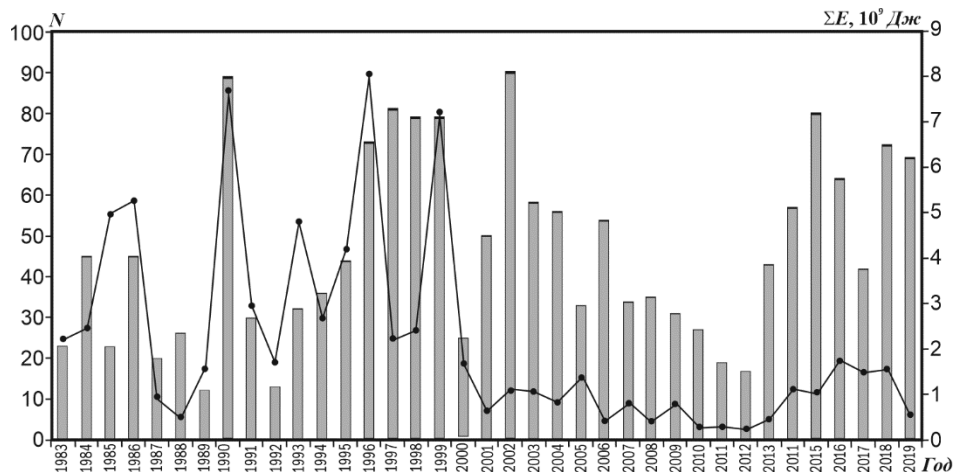


Рис. 4. Распределение числа сейсмических событий (а) и суммарной выделившейся энергии (б) по годам с 1983 г. по 2019 г.

**Заключение.** Обзор сейсмичности территории Беларуси за 2018–2019 гг. представлен на основе анализа работы данных 17 цифровых станций. Все цифровые станции работали в режиме on-line с непрерывной передачей информации через мобильную сеть в центр сбора информации в г. Минске. Обработка зафиксированных сейсмических событий осуществлялась с помощью современных стандартных компьютерных программ.

В 2018 г. на территории Беларуси зарегистрировано 72 землетрясения с  $K_d=4.9-8.6$ , в 2019 г. – 69 землетрясений с  $K_d=4.9-8.2$ . Уровень выделившейся сейсмической энергии в 2018–2019 гг. оставался повышенным относительно его минимальных значений в 2010–2012 гг., но все еще не достигал среднего уровня за много лет. Число событий за анализируемый период, наоборот, превышает средние долговременные фоновые значения.

Природная сейсмичность по-прежнему наблюдалась 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 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. 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 общ. ред. Д.Ю. Мехрюшева. – Обнинск: Фонды ГС РАН, 2000. – 87 с.
5. Руководство пользователя. Регистратор сейсмических сигналов Centauer. – Nanometrics Inc., Canada, 2017. – 111 р.
6. Руководство по эксплуатации и обслуживанию сейсмометра Trillium 120/QA. – Nanometrics Inc., Canada, 2017. – 47 р.
7. Регистратор сейсмических сигналов Дельта-03. Руководство по эксплуатации. ИТЛЯ. 416611.004 РЭ. – М.: 2007. – 20 с.
8. Техническая документация фирмы Lennartz electronic GmbH. LE-xD Seismometer Family, DN: 990-0073. – Tübingen, Germany, 2012. – 30 р.
9. Аронов А.Г., Аронов Г.А. Сейсмические станции Беларуси в 2018–2019 гг. // *Землетрясения Северной Евразии*. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-26.html>
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. Аронов А.Г. Региональные годографы сейсмических волн запада Восточно-Европейской платформы // *Сейсмологический бюллетень*. – Минск: ОКЖИОП, 1996. – С. 136–149.
14. Kennet B.L.N. IASPEI 1991 Seismological Tables. – Sydney, Australia: Research School of Earth Sciences Australian National University, 1991. – 167 р.
15. Маламуд А.С. Использование длительности колебаний для энергетической классификации землетрясений // *Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений*, Т. II. – М.: АН СССР, 1974. – С. 180–194.

16. Аронова Т.И., Аронов Г.А., Протасовицкая Т.А., Аронов А.Г. Сейсмичность на территории Беларуси в 2016–2017 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 206–212. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2022.25.18>. EDN: ВТХЕАР
17. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности (Труды ИФЗ АН СССР, № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
18. Аронова Т.И., Захаревич О.В., Аронов В.А. Каталог землетрясений Беларуси за 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-26.html>

### ***SEISMICITY of the TERRITORY of BELARUS in 2018–2019***

***T.I. Aronova, G.A. Aronov, O.V. Zaharevich, A.G. Aronov***

*Centre of Geophysical Monitoring of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Minsk, Belarus, [centr@cgm.org.by](mailto:centr@cgm.org.by)*

**Abstract.** A review of seismicity in the territory of Belarus within 2018–2019 based on the data of 17 digital stations is presented. A total of 72 events with  $K_d=4.9–8.6$  were recorded in 2018 and 69 events with  $K_d=4.9–8.2$  – in 2019. All of the events were confined to the southern part of the territory, the Soligorsk mining area included. The comparison of  $N_E$  and  $\Sigma E$  annual estimations for 2018 and 2019 with the long-term average values shows that the level of the seismic energy released in 2018 and 2019 remains low, but a number of the events for the periods under consideration are higher than the long-term average background values. There is no the stable correlation between the released seismic energy and the number of events for a long-term period of 1983–2019.

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

**For citation:** Aronova, T.I., Aronov, G.A., Zaharevich, O.V., & Aronov, A.G. (2023). [Seismicity of the territory of Belarus in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 217–224. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.18> EDN: SNZIXK

### **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. *Rukovodstvo pol'zovatelja. Registrator seismicheskikh signalov Centauer* [User's Manual. Seismic signal recorder Centauer]. (2017). *Nanometrics Inc., Canada*, 111 p. (In Russ.).
6. *Rukovodstvo po ekspluatatsii i obsluzhivaniyu seismometra Trillium 120/QA* [Trillium 120/QA Seismometer Operations and Maintenance Manual]. (2017). *Nanometrics Inc., Canada*, 47 p. (In Russ.).
7. *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.).
8. *Technical Documentation Lennartz electronic GmbH*. (2012). LE-xD Seismometer Family, DN: 990-0073. *Tübingen, Germany*, 30 p. (In Russ.).
9. Aronov, A.G., & Aronov, G.A. (2023). [Seismic Stations of Belarus in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-26.html> (In Russ.).
10. 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.).
11. 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.).

12. [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.).
13. Aronov, A.G. (1996). [Regional Travel-Time Curves of Seismic Waves of the East European Platform West]. In *Seismologicheskii biulleten'* [Seismological Bulletin] (pp. 136–149). Minsk, Belarus. (In Russ.).
14. Kennet, B.L.N. (1991). IASPEI 1991 Seismological Tables. Sydney, Australia: Research School of Earth Sciences Australian National University, 167 p.
15. 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.).
16. 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: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2022.25.18>. EDN: BTXEAR
17. 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.).
18. Aronova, T.I., Zaharevich, O.V., & Aronov, V.A. (2023). [Catalogue of the Earthquakes of Belarus in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-26.html> (In Russ.).