

УДК 550.348 (476)

СЕЙСМИЧНОСТЬ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ в 2021 году

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 2021 г. на основе сведений, полученных по данным 17 цифровых станций. В 2021 г. зарегистрировано 70 событий с $K_d=4.6-9.2$. Все землетрясения локализованы в южной части зоны ответственности, включающей Солигорский горнопромышленный район. Сравнение параметров N_E и ΣE за 2021 г. с долговременными среднегодовыми оценками показало, что уровень выделенной сейсмической энергии и число событий в 2021 г. превышали фоновые значения. За долговременный период 1983–2021 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 2021 году // Землетрясения Северной Евразии. – 2025. – Вып. 28 (2021). – С. 200–205. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.18> EDN: RANYQA

Введение. Территория Беларуси расположена на западе древней Восточно-Европейской платформы и, в соответствии с сеймотектоническим районированием, является слабоактивным регионом [1]. Наблюдения за сейсмическими процессами и обработка материалов наблюдений проводятся Центром геофизического мониторинга НАН Беларуси. Сейсмические события, зарегистрированные в 2021 г., приурочены к зоне сочленения северо-западной части Припятского прогиба и Белорусской антеклизы, включающей Солигорский горнопромышленный регион [2]. Учитывая изменения напряженного состояния геологической среды, происходящие в течение длительного времени и вызванные выемкой, перемещением горных пород и их складированием в соляных отвалах, можно предположить, что происходящие в районе Солигорска землетрясения являются в основном наведенной сейсмичностью и носят техногенный характер. Однако проявления сейсмичности за пределами зоны промышленных выработок служат признаком того, что с определенного времени процесс сейсмический процесс начинает контролироваться в основном региональными геодинамическими факторами и в меньшей степени зависит от горнодобывающей деятельности [3].

Основной задачей настоящей статьи явилось описание сейсмичности в 2021 г. на территории «Беларусь» в границах: $\varphi=51.0-56.3^\circ\text{N}$, $\lambda=23-33^\circ\text{E}$ (далее – «зона ответственности»).

Сеть сейсмических станций. Сеть сейсмических наблюдений на территории Беларуси в 2021 г. не изменилась и состояла из двух широкополосных станций, Минск (MIK) и Нарочь (NAR), оснащенных регистраторами сейсмических сигналов цифровых станций Centaur [4] и широкополосными сейсмометрами Trillium) производства «Nanometrics», Канада [5], а также станций Солигорской ($N=8$) и Островецкой ($N=7$) локальных сетей, оснащенных регистраторами Дельта-03 (изготовитель – фирма «ГЕОТЕХ», Россия, [6]) и короткопериодными сейсмоприемниками Le 3DLite (изготовитель – фирма «LENNARTZ», Германия [7]). Более подробное описание станций и параметров регистрирующей аппаратуры приведены в электронном приложении [8] к настоящему выпуску журнала. Расположение сейсмических станций показано на рис. 1.

Методика обработки записей сейсмических событий описана в [9, 10]. Классификация землетрясений по энергетическому уровню выполнена по энергетическим классам K_d [9, 11]. Расчетные магнитуды получены при пересчете из энергетических классов K_d [9, 12, 13].

Каталог землетрясений. Сетью сейсмических станций [8] на территории Беларуси в 2021 г. было зарегистрировано 70 землетрясений с $K_d=4.6-9.2$ и определены их параметры [14].

Самое слабое событие с $K_d=4.6$ зафиксировано 4 июля в $16^{\text{h}}00^{\text{m}}$, а максимальное землетрясение с $K_d=9.2$ отмечено 3 сентября в $23^{\text{h}}38^{\text{m}}$. Оно произошло в 3 км к востоку от д. Замошье и в 18 км к северо-востоку от г. Солигорска. Сведений об ощутимости сотрясений от землетрясений, произошедших в 2021 г., не поступало.

Анализ сейсмичности. Пространственное распределение сейсмичности показано на рис. 2. Эпицентры землетрясений, как и ранее [9, 12] располагались в южной части территории Беларуси.

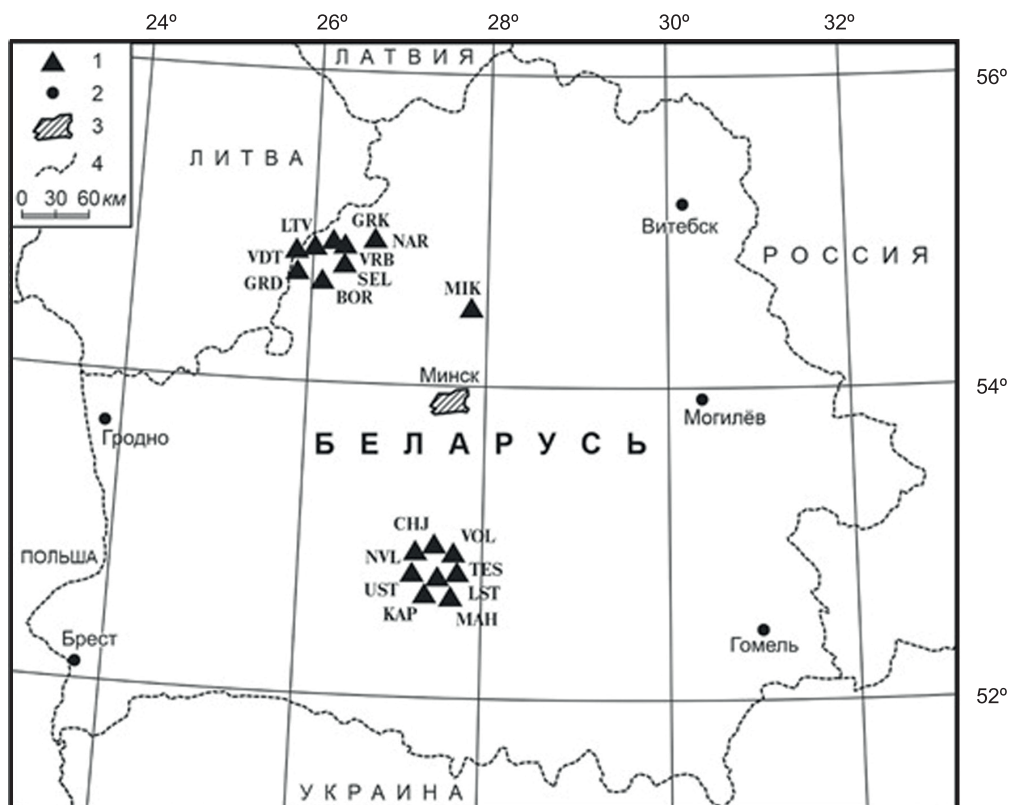


Рис. 1. Сеть сейсмических станций Беларуси в 2021 г., внешняя рамка карты соответствует границе зоны ответственности территории «Беларусь»

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

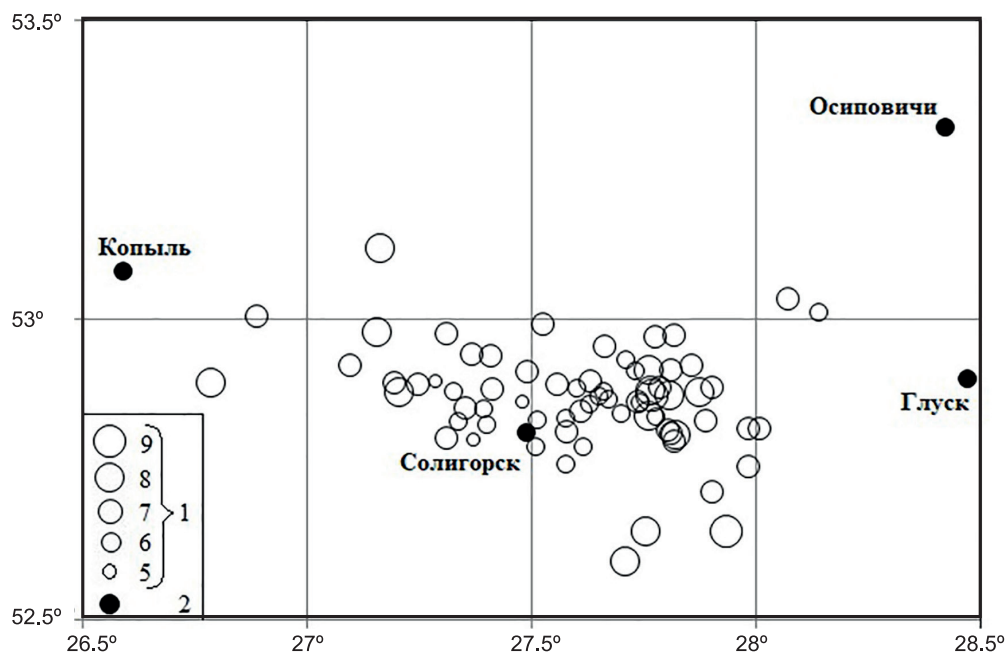


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений в Беларуси за 2021 г.

1 – энергетический класс K_d ; 2 – город.

Данные о зафиксированных землетрясениях легли в основу их помесечного распределения. Распределение числа сейсмических событий по энергетическим классам K_d и суммарной выделенной сейсмической энергии по месяцам в 2021 г. представлено в табл. 1.

Таблица 1. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_d и суммарная сейсмическая энергия ΣE за январь–декабрь 2021 г.

Месяц	K_d					N_Σ	$\Sigma E, 10^9 \text{ Дж}$
	5	6	7	8	9		
I	–	4	3	1	–	8	0.1029
II	1	3	4	1	–	9	0.1513
III	–	4	4	–	–	8	0.0543
IV	–	1	2	2	–	5	0.1240
V	–	2	6	–	–	8	0.0792
VI	1	2	–	1	–	4	0.0439
VII	1	1	1	–	–	3	0.0127
VIII	–	1	2	2	–	5	0.2183
IX	–	–	2	4	2	8	2.7764
X	–	–	2	–	–	2	0.0261
XI	–	–	3	1	–	4	0.1258
XII	–	2	4	–	–	6	0.0597
I–XII	3	20	33	12	2	70	3.7748

Ход сейсмического процесса в течение 2021 г. неравномерен во времени. Максимум высвобожденной сейсмической энергии приходится на сентябрь ($\Sigma E=2.7764 \cdot 10^9 \text{ Дж}$), минимум отмечен в июле ($\Sigma E=0.0127 \cdot 10^9 \text{ Дж}$). Максимум числа событий наблюдался в феврале ($N=9$), минимум приходится на октябрь ($N=2$).

Распределение землетрясений по интервалам глубин в 2021 г. показано в табл. 2. Как видно из таблицы, большинство землетрясений (38) приурочено к промежутку земной коры с $h=21\text{--}30 \text{ км}$, наименьшее число событий (9) относится к слою земной коры с $h=0\text{--}10 \text{ км}$. Погрешность определения глубин гипоцентров находится в пределах $\delta=\pm(2.41\text{--}8.97) \text{ км}$ [14]. Такое распределение свидетельствует в пользу тектонической, а не техногенной природы зарегистрированных сейсмических событий.

Таблица 2. Распределение числа землетрясений по интервалам глубин $h_1\text{--}h_2$ в 2021 г.

$h_1\text{--}h_2, \text{ км}$	0–10	11–20	21–30	31–40	N_Σ
$N(h)$	9	23	38	0	70

Кумулятивный график повторяемости, характеризующий, в том числе, представительность регистрации землетрясений на рассматриваемой территории в 2021 г., представлен на рис. 3.

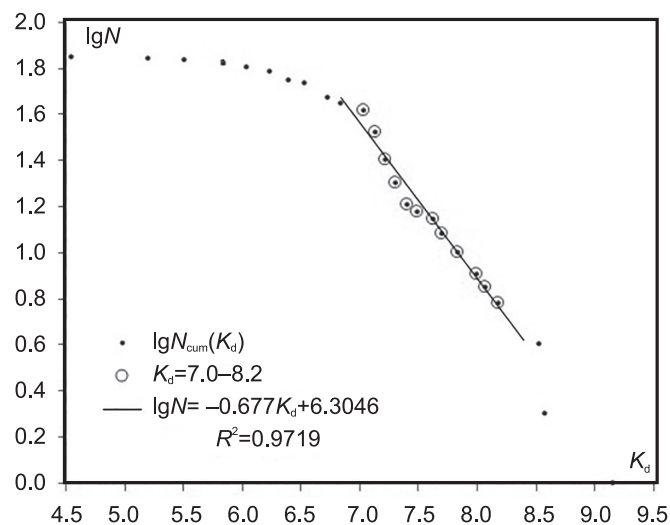


Рис. 3. Кумулятивный график повторяемости землетрясений Беларуси за 2021 г.

Абсцисса точки перегиба графика повторяемости $\lg N(K_d)$, соответствующая представительности регистрации землетрясений K_{\min} , определена методом расчета уравнений линейной регрессии в сужающемся диапазоне классов K_d , от $K_d=6.7-8.5$ (с увеличением минимального класса на 0.1 ед. класса в каждом следующем диапазоне) до $K_d=7.5-8.5$, и сравнения их коэффициентов детерминации R^2 . Минимальный $R^2=0.9719$ получен в диапазоне энергетических классов $K_d=7.0-8.2$, в котором линейная часть графика аппроксимирована уравнением:

$$\lg N=6.3046-0.6774 \cdot K_d.$$

Таким образом, представительный энергетический класс $K_{\min}=7.0$, наклон кумулятивного графика повторяемости $\gamma=-0.68$. Завышенное по абсолютной величине относительно других регионов значение γ объясняется недостаточным количеством произошедших в 2021 г. землетрясений с $K_d \geq 8.0$ и, возможно, присутствием в выборке слабых техногенных событий.

Сопоставление данных за 2020 г. [12] и 2021 г. с долговременными оценками среднегодовых значений N_{Σ} и ΣE за 38-летний период (1983–2020 гг.) показано в табл. 3. Сравнение показало, что параметры числа землетрясений N_{Σ} и выделившейся сейсмической энергии ΣE за 2021 г. ($N_{\Sigma}=70$, $\Sigma E=3.775 \cdot 10^9$ Дж) повысились как относительно средних долговременных оценок ($N_{\Sigma}=46.61$, $\Sigma E=2.161 \cdot 10^9$ Дж), так и относительно аналогичных параметров за 2020 г.

Таблица 3. Годовые значения числа N сейсмических событий разных энергетических классов K_d и их суммарной сейсмической энергии ΣE на территории Беларуси за 2020 и 2021 гг., суммарные и средние значения этих параметров за период 1983–2020 гг.

Год	K_d						N_{Σ}	ΣE , 10^9 Дж
	4	5	6	7	8	9		
2020	–	2	24	29	10	–	65	1.741
Сумма за 1983–2020 гг.	5	197	567	583	413	6	1771	82.103
Среднегодовое за 38 лет	0.13	5.18	14.92	15.34	10.87	0.16	46.61	2.161
2021	–	3	20	33	12	2	70	3.775

Как уже отмечалось ранее [12], наблюдается отсутствие устойчивой корреляции между N_{Σ} и ΣE как в отдельные годы, так и за длительный период 1983–2021 гг. Так, при примерно равных числах землетрясений в 2018–2021 гг., выделенная сейсмическая энергия существенно увеличилась в 2020 и 2021 гг. (рис. 4).

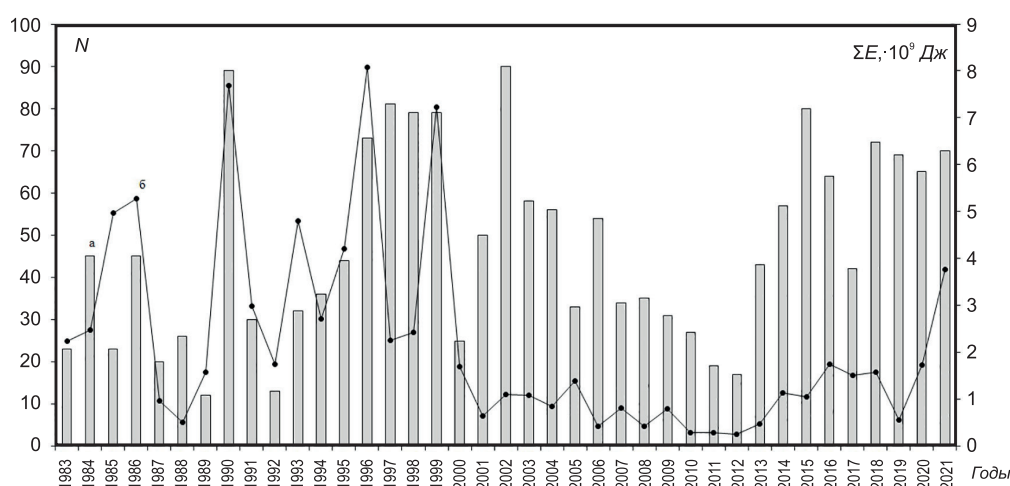


Рис. 4. Распределение числа сейсмических событий (а) и суммарной выделившейся энергии (б) по годам с 1983 г. по 2021 г.

Заключение. Число цифровых сейсмических станций на территории Беларуси ($N=17$) и методика обработки данных остались неизменными в 2021 г.

Всего за 2021 г. на территории Беларуси зарегистрировано 70 землетрясений с $K_d=4.6-9.2$. Уровень выделившейся сейсмической энергии оставался повышенным относительно его минимальных значений в 2010–2012 гг. и превысил средний уровень за 38 лет. Число событий за анализируемый период также превышает среднее долговременное фоновое значение.

Литература

1. Аронов А.Г., Сероглазов Р.Р., Аронова Т.И. Сейсмичность и сейсмотектоника // Сейсмотектоника 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. Руководство пользователя. Регистратор сейсмических сигналов Centauer // Nanometrics Inc. – Canada, 2017. – 111 с.
5. Руководство по эксплуатации и обслуживанию сейсмометра Trillium 120/QA // Nanometrics Inc. – Canada, 2017. – 47 с.
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 2021 г. // *Землетрясения Северной Евразии*. – 2025. – Вып. 28 (2021). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-28.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. 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. Маламуд А.С. Использование длительности колебаний для энергетической классификации землетрясений // *Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений*, Т. II. – М.: АН СССР, 1974. – С. 180–194.
12. Аронова Т.И., Аронов Г.А., Захаревич О.В., Аронов А.Г. Сейсмичность на территории Беларуси в 2020 году // *Землетрясения Северной Евразии*. – 2024. – Вып. 27 (2020). – С. 198–204. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.18> EDN: HZТВРО
13. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // *Методы детального изучения сейсмичности* (Труды ИФЗ АН СССР, № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
14. Аронова Т.И., Захаревич О.В., Аронов В.А. Каталог землетрясений Беларуси за 2021 г. // *Землетрясения Северной Евразии*. – 2025. – Вып. 28 (2021). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-28.html>

SEISMICITY of the TERRITORY of BELARUS in 2021**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*

Abstract. A review of seismicity in the territory of Belarus for 2021 based on the data of 17 digital stations is presented. 70 seismic events with $K_d = 4.6–9.2$ were recorded in 2021. All the earthquakes are confined to the southern part of the monitored zone, the Soligorsk mining region included. A comparison of the parameters N_Σ and ΣE determined in 2021 with the long-term average annual estimates showed that the level of the seismic energy released and the number of events recorded in 2021 were higher than their background values. No any stable correlation between the energy released and the number of recorded seismic events was observed within the long-term period of 1983–2021.

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

For citation: Aronova, T.I., Aronov, G.A., Zaharevich, O.V., & Aronov, A.G. (2025). [Seismicity of the territory of Belarus in 2021]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021), 200–205. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.18> EDN: RANYQA

References

1. Aronov, A.G., Seroglazov, R.R., & Aronova, T.I. (2009). [Seismicity and seismotectonics]. In *Seismotektonika плит древних платформ в области четвертичного оледенения* [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. *Rukovodstvo pol'zovatel'ia. Registrator seismicheskikh signalov Centauer* [User's Manual. Seismic signal recorder Centauer]. (2017). Nanometrics Inc., Canada, 111 p. (In Russ.).
5. *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.).
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. (2025). [Seismic Stations of Belarus in 2021]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-28.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. [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. Malamud, A.S. (1974). [The use of the oscillation duration for the energy classification of earthquakes]. In *Magnituda i energeticheskaya klassifikatsiya 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.).
12. Aronova, T.I., Aronov, G.A., Zaharevich, O.V., & Aronov, A.G. (2024). [Seismicity of the territory of Belarus in 2020]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020), 198–204. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.18> EDN: HZTBPO
13. 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.).
14. Aronova, T.I., Zaharevich, O.V., & Aronov, V.A. (2025). [Catalogue of the Earthquakes of Belarus in 2021]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-28.html> (In Russ.).