Землетрясения Северной Евразии

2024. - Вып. 27 (2020). - С. 198-204. DOI: https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.18 EDN: HZТВРО

Metadata in English is at the end of the article

УДК 550.348 (476)

СЕЙСМИЧНОСТЬ на ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ в 2020 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 2020 г. на основе данных 17 цифровых станций. В 2020 г. зарегистрировано 65 событий с K_d =5.3–8.5. Все землетрясения локализованы в южной части зоны ответственности, включающей Солигорский горнопромышленный район. Сравнение параметров N_{Σ} и ΣE за 2020 г. с долговременными среднегодовыми оценками показало, что уровень выделившейся сейсмической энергии в 2020 г. оставался пониженным, тогда как число событий за анализируемый период превышало фоновые значения. За долговременный период 1983–2020 гг. наблюдается отсутствие устойчивой корреляции между выделенной энергии 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 2020 году // Землетрясения Северной Евразии. – 2024. – Вып. 27 (2020). – С. 198–204. DOI: https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.18 EDN: HZTBPO

Введение. Территория Беларуси расположена на западе древней Восточно-Европейской платформы и, в соответствии с сейсмотектоническим районированием, является слабоактивным регионом [1]. Наблюдения за сейсмическими процессами и обработка материалов наблюдений проводится Центром геофизического мониторинга НАН Беларуси. Сейсмические события, зарегистрированные в 2020 г., 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, открытое в 1949 г., начало разрабатываться с начала шестидесятых годов прошлого столетия. 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 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.

Основной задачей настоящей статьи явилось описание сейсмичности территории Беларуси в 2020 г. на основе результатов сейсмического мониторинга.

Сеть сейсмических станций. В 2020 г. наблюдения проводились на станциях Минск (MIK) и Нарочь (NAR), где установлены регистраторы сейсмических сигналов цифровых станций Centaur [4] с широкополосными сейсмометрами Trillium 120 (модель T120-QA-SV1) производства «Nanometrics», Канада [5]. 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: Градовщизна (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, [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. Минске.

Расположение сейсмических станций показано на рис. 1. Сведения обо всех станциях и параметрах регистрирующей аппаратуры приведены в электронном приложении [8] к настоящему выпуску ежегодника.



Рис. 1. Сеть сейсмических станций Беларуси в 2020 г., 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 [9]. Землетрясения на телесейсмических и региональных расстояниях обрабатывались с использованием системы WSG, разработанной в ФИЦ ЕГС РАН [10], и пакета компьютерных программ [11], созданных и адаптированных в Центре геофизического мониторинга НАН Беларуси (IdSeism – идентификация сейсмических явлений: выделение телесейсмических, региональных, местных (локальных) событий и взрывов; UniViewer – визуальное отображение сейсмических данных из различных файлов: файлов станций Centaur, 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. 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 определения времени в очаге t_0 и погрешности $\delta \varphi^\circ$, $\delta \lambda^\circ$, δh определения положения гипоцентра (φ , λ , h), так и ошибка каждого отдельного вступления. Наряду с региональным годографом [12], в программе предусмотрено применение глобального годографа IASPEI [13].

Энергетический класс сейсмических событий K_d определялся по длительности колебаний на записи τ , которая, в свою очередь, считалась от начала колебаний до момента слияния с микросейсмами [9, 14]. Соотношение (1) между длительностью записи τ (*c*) и энергетическим классом K_P по шкале Т.Г. Раутиан [15], который принят равным K_d , было получено экспериментально [9] в виде:

$$K_{\rm P} = K_{\rm d} = 7.2 \, \rm lg\tau - 6.8.$$
 (1)

Расчетные магнитуды получены традиционно [9, 16] пересчетом из энергетических классов K_d по формуле Т.Г. Раутиан [15] в предположении о возможности ее использования и для классов K_d :

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

Каталог землетрясений. На территории Беларуси ее сетью сейсмических станций было зарегистрировано в 2020 г. 65 землетрясений с K_d =5.3–8.5 и определены их параметры [17].

Самое слабое событие с K_d =5.3 зафиксировано 20 февраля в 06^h44^m, а максимальное землетрясение с K_d =8.5 отмечено 19 октября в 20^h22^m. Оно произошло в 6 км к югу от д. Редковичи и в 37 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, в районе г. Солигорска. (рис. 2). На западе, севере и востоке Беларуси не было зарегистрировано ни одного землетрясения.



1 – энергетический класс *K*_d: 2 – город.

Распределение числа сейсмических событий по энергетическим классам *K*_d и суммарной выделившейся сейсмической энергии по месяцам в 2020 г. представлено в табл. 1.

Таблица 1. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам *K*_d и суммарная сейсмическая энергия Σ*E* за январь–декабрь 2020 г.

Месяц	Kd					λŢ	ΣE ,	
	5	6	7	8	9	$IV\Sigma$	10 ⁹ Дж	
I	_	1	1	1	_	3	0.0670	
II	1	5	3	—	_	9	0.0375	
III	-	1	2	5	-	8	0.4379	
IV	-	—	3	—	-	3	0.0418	
V	-	—	1	1	-	2	0.1376	
VI	-	1	3	—	-	4	0.0567	
VII	_	3	1	_	_	4	0.0170	

Месяц	K _d					N	ΣE ,	
	5	6	7	8	9	IV_{Σ}	10 ⁹ Дж	
VIII	_	3	—	-	-	3	0.0074	
IX	1	5	2	—	_	8	0.0306	
X	_	3	2	1	_	6	0.3460	
XI	-	_	6	2	-	8	0.4815	
XII	_	2	5	_	_	7	0.0799	
I–XII	2	24	29	10	_	65	1.7410	

Рассматривая ход сейсмического процесса в течение 2020 г., можно отметить, что он неравномерен во времени. Максимум высвобождения сейсмической энергии приходится на ноябрь ($\Sigma E=0.4815 \cdot 10^9 \ Dm$). Максимум числа событий наблюдался в феврале (N=9).

Распределение землетрясений по интервалам глубин в 2020 г. показано в табл. 3. Как видно из таблицы, большинство землетрясений (56) приурочено к промежутку земной коры с $h=11-30 \ \kappa m$. Погрешность определения глубин гипоцентров находится в пределах $\delta=\pm(2.29-8.41) \ \kappa m$ [17].

Приуроченность максимума числа толчков к средним глубинам земной коры (*h*=11-30 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 2020 г.

<i>h</i> ₁ - <i>h</i> ₂ , км	0-10	11–20	21-30	31-40	N_{Σ}
N(h)	9	33	23	0	65

Кумулятивный график повторяемости, характеризующий представительность регистрации землетрясений на рассматриваемой территории в 2020 г., представлен на рис. 3.



Рис. 3. Кумулятивный график повторяемости землетрясений Беларуси за 2020 г.

Абсцисса точки перегиба графика повторяемости $lgN(K_d)$, соответствующая представительности регистрации землетрясений K_{min} , определена методом расчета уравнений линейной регрессии в сужающемся диапазоне классов K_d , от K_d =6.9–8.4 (с увеличением минимального класса на 0.1 ед. класса в каждом следующем диапазоне) до K_d =7.5–8.4, и сравнения их коэффициентов детерминации R^2 . Минимальный R^2 =0.9846 получен в диапазоне энергетических классов K_d =7.1– 8.4, в котором линейная часть графика в аппроксимирована уравнением:

$$\lg N = 7.7782 - 0.8835 \cdot K_d.$$
 (3)

Таким образом, K_{\min} =7.1, а наклон кумулятивного графика повторяемости γ =-0.88. Завышенное по абсолютной величине значение γ объясняется недостаточным количеством произошедших в 2020 г. землетрясений с $K_d \ge 8.0$. Сопоставление данных за 2020 г. со среднегодовыми долговременными оценками N_{Σ} и ΣE за предшествующие 37 лет [15] показано в табл. 4. Сравнение числа землетрясений N_{Σ} и выделившейся сейсмической энергии ΣE за 2020 г. (N_{Σ} =65, ΣE =1.741·10⁹ $\mathcal{J}\mathcal{K}$) со средними долговременными оценками (N_{Σ} =46.11, ΣE =2.172·10⁹ $\mathcal{J}\mathcal{K}$) показало, что уровень выделившейся сейсмической энергии оставался несколько пониженным, тогда как число событий в 2020 г. возросло относительно долговременного фонового значения γ .

Кd ΣE , Год N_{Σ} 4 8 9 109 Дж 5 6 7 2019 44 3 69 0.557 6 16 Сумма за 1983-2019 гг. 5 195 543 403 80.362 554 6 1706 Среднее за 37 лет 0.14 14.97 10.89 5.27 14.68 0.16 46.11 2.172 2020 2 24 29 10 65 1.741

Таблица 4. Годовые значения числа *N* сейсмических событий разных энергетических классов *K*_d и их суммарной сейсмической энергии Σ*E* на территории Беларуси за 2019 и 2020 гг., суммарные и средние значения за 1983–2019 гг.

В целом по региону после 1999 г. наблюдался спад суммарной сейсмической энергии от $\Sigma E=7.227\cdot10^9 \ \ Decision \Sigma E=0.249\cdot10^9 \ \ Decision Decis$

Следует отметить отсутствие устойчивой корреляции между N_{Σ} и ΣE как в 2020 г., так и за длительный период 1983–2020 гг.



Рис. 4. Распределение числа сейсмических событий (а) и суммарной выделившейся энергии (б) по годам с 1983 г. по 2020 г.

Заключение. Обзор сейсмичности территории Беларуси за 2020 г. представлен на основе анализа данных 17 цифровых станций, которые работали в режиме on-line с непрерывной передачей информации через мобильную сеть в центр сбора и обработки в г. Минске. Обработка зафиксированных сейсмических событий осуществлялась с помощью современных стандартных компьютерных программ.

В 2020 г. на территории Беларуси зарегистрировано 65 землетрясений с K_d =5.3–8.5. Уровень выделившейся сейсмической энергии в 2020 г. оставался повышенным относительно его минимальных значений в 2010–2012 гг., но все еще не достиг среднего уровня за много лет. Число событий за анализируемый период, наоборот, превышает среднее долговременное фоновое значение.

Природная сейсмичность по-прежнему наблюдалась в южной части территории, включающей Солигорский горнопромышленный район. Происходящие здесь сейсмические события вызваны как горнодобывающей деятельностью, так и естественными деформационными процессами в регионе. Они несут важную информацию о пространственном расположении активно деформирующихся областей горного массива Солигорского горнопромышленного региона.

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. Махнача [и др.]. Минск: ИГН НАН Беларуси, 2001. 815 с.
- 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 р.
- 5. Руководство по эксплуатации и обслуживанию сейсмометра Trillium 120/QA // Nanometrics Inc. Canada, 2017. 47 p.
- 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 p.
- Аронов А.Г., Аронов Г.А. Сейсмические станции Беларуси в 2020 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2024. – Вып. 27 (2020). – [Электронное приложение]. – URL: http://www.gsras.ru/zse/app-27.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.
- 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. Аронова Т.И., Аронов Г.А., Захаревич О.В., Аронов А.Г. Сейсмичность на территории Беларуси в 2018–2019 г. // 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
- 16. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности (Труды ИФЗ АН СССР, № 9 (176)). М.: ИФЗ АН СССР, 1960. С. 75–114.
- 17. Аронова Т.И., Захаревич О.В., Аронов В.А. Каталог землетрясений Беларуси за 2020 г. // Землетрясения Северной Евразии. 2024. Вып. 27 (2020). [Электронное приложение]. URL: http://www.gsras.ru/zse/app-27.html

SEISMICITY of the TERRITORY of BELARUS in 2020

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 within 2020 based on the data of 17 digital stations is presented. 65 seismic events with K_d =5.3–8.5 were recorded in 2020. 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 for 2020 with the long-term average annual estimates showed that the level of the seismic energy released in 2020 remained rather low, while the number of events recorded in the period under consideration was higher than the background values. No any stable correlation between the energy released and the number of seismic events was observed during the long-term period of 1983–2020.

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

For citation: 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

References

- 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.).
- 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'zovatelia. 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.).
- Aronov, A.G., & Aronov, G.A. (2024). [Seismic Stations of Belarus in 2020]. Zemletriaseniia Severnoi Evrazii [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020). Electronic supplement. Retrieved from http://www.gsras.ru/zse/app-27.html (In Russ.).
- 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.).
- [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]. In *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.
- 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.).
- 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
- 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.).
- Aronova, T.I., Zaharevich, O.V., & Aronov, V.A. (2024). [Catalogue of the Earthquakes of Belarus in 2020]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020). Electronic supplement. Re-trieved from http://www.gsras.ru/zse/app-27.html (In Russ.).