

550.348 (470, 477)

## Сейсмические воздействия от землетрясений разной удалённости на территорию Беларуси

© 2019 г. Г.А. Аронов

ЦГМ НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Контроль состояния геологической среды — это одна из наиболее важных задач сейсмологического мониторинга территории Беларуси. Сейсмологический мониторинг в Беларуси представляет собой систему непрерывных круглосуточных наблюдений за происходящими сейсмическими событиями естественного и искусственного происхождения в широком диапазоне энергий и расстояний с использованием автоматизированных систем. Основная задача сети сейсмических наблюдений на территории Беларуси заключается в регистрации далёких, региональных и местных сейсмических событий. За период с 1966 г. по настоящее время сетью сейсмических станций, расположенных на территории Беларуси, зарегистрировано 60827 землетрясений в разных регионах Земли. Выполнен анализ полученных сведений о сильных далёких, региональных и местных землетрясениях, зарегистрированных сейсмическими станциями. Проведён расчёт интенсивности сейсмических воздействий этих землетрясений на изучаемой территории с использованием формулы Н.В. Шебалина. Исследования позволили оценить уровень сейсмических воздействий на территорию Беларуси. Наибольшее влияние на исследуемую территорию среди сильных землетрясений Земли оказало катастрофическое землетрясение, произошедшее 26 декабря 2004 г. на западном побережье Северной Суматры. Из сильных землетрясений Европы и смежных территорий наибольшее воздействие оказали два землетрясения — 8 января 2006 г. в Южной Греции и 23 октября 2011 г. в Турции. Из региональных землетрясений наибольшее воздействие оказало землетрясение, произошедшее 23 сентября 2016 г. в Румынии. Количественная оценка сотрясаемости от землетрясений разной удалённости на территории Беларуси находит своё практическое применение для совершенствования карт общего и детального сейсмического районирования, решения других научных и практических задач.

**Ключевые слова:** мониторинг, сейсмическая станция, землетрясение, эпицентр, магнитуда, каталог, сейсмическое воздействие, интенсивность.

**Для цитирования:** Аронов Г.А. Сейсмические воздействия от землетрясений разной удалённости на территорию Беларуси // Российский сейсмологический журнал. — 2019. — Т. 1, № 1. — С. 92–100. doi: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2019.1.09>

### Введение

Территория Беларуси расположена на западе древней Восточно-Европейской платформы и в соответствии с сеймотектоническим районированием относится к слабоактивному региону [Аронов и др., 2009; Геология Беларуси, 2001]. Контроль состояния геологической среды — это одна из наиболее важных задач сейсмического мониторинга территории Беларуси. Все регистрируемые сейсмические волны проходят в геологической среде и соответственно несут информацию о её состоянии. Сильное землетрясение — это достаточно продолжительный геодинамический процесс со стадиями подготовки, реализации события и последствий. Процесс под-

готовки и реализации сейсмического события охватывает не только отдельный участок литосферы, но и гидросферу (в основном её подземную часть), биосферу, атмосферу и даже ионосферу. Любое, а тем более крупное землетрясение, не может считаться точечным в пространственно-временной среде и изолированным событием и должно рассматриваться как длительный процесс: нарушение и последующее восстановление упругих деформаций в ходе долговременных процессов в обширных объёмах природной среды [Аронов, 2016].

Сейсмологический мониторинг в Беларуси представляет собой систему непрерывных круглосуточных наблюдений за происходящими сейсмическими событиями естественного

и искусственного происхождения в широком диапазоне энергий и расстояний с использованием автоматизированных систем. Сеть сейсмологических наблюдений структурно состоит из трёх уровней: глобального, регионального и локального. Глобальный и региональные уровни мониторинга обеспечивали геофизические обсерватории «Плещеницы» (МІК) и «Нарочь» (NAR), региональный и локальный уровни – сети сейсмических станций в Солигорском и Островецком районах (рис. 1). Солигорская локальная сеть расположена на юге и состоит из восьми сейсмических станций: «Волоты» (VOL), «Тесово» (TES), «Устронь» (UST), «Чижовка» (CHJ), «Копачевичи» (KAP), «Новый луг» (NVL), «Махновичи» (MAH), «Листопадовичи» (LST). Островецкая локальная сеть расположена на северо-западе и включает семь сейсмических станций: «Бояры» (BOR), «Градовщина» (GRD), «Вада-тишки» (VDT), «Селище» (SEL), «Горная Каймина» (GRK), «Воробьи» (VRB), «Литвяны» (LTV). Сведения о станциях и параметрах регистрирующей аппаратуры приведены в табл. 1 и 2.

Представительный магнитудный уровень регистрации сейсмических событий белорусской сетью сейсмических станций для далёких землетрясений составляет  $M \geq 5.0$ , для региональных землетрясений  $M \geq 4.0$  [Аронов, 2016]. Для местных событий была проведена оценка периодов и пло-

щадей представительной регистрации землетрясений разных энергетических классов, построена эмпирическая картографическая схема  $K_{\min}$  и определён угол наклона нормированного графика повторяемости, определён представительный магнитудный уровень  $M=1.0$  [Аронов, 2019].

Основная задача сети сейсмических наблюдений на территории Беларуси по контролю состояния среды, заключается в регистрации далёких, региональных и местных сейсмических событий. Любой, даже слабый, толчок может свидетельствовать о начале геодинамической активизации как на исследуемой территории, так и за её пределами.

Что касается регистрации далёких и региональных землетрясений, то они могут рассматриваться с точки зрения сейсмической безопасности территории Беларуси в двух аспектах:

- фиксирование непосредственных сейсмических воздействий от удалённых и особенно региональных землетрясений, связанных с сейсмической активностью в их очаговых зонах;

- регистрация изменений параметров сейсмических волн, связанных с изменением состояния геологической среды. В качестве таких параметров могут быть спектральные изменения волн от одних и тех же источников, изменения длительности колебаний, связанные с изменением добротности среды, и т.д. В свою очередь,



Рис. 1. Сеть сейсмических станций Беларуси.

1 – сейсмические станции; 2 – города; 3 – государственная граница

Таблица 1. Сведения о сейсмических станциях Беларуси

№	Название станции	Код между-народ-ный	Код регио-наль-ный	Дата открытия	Дата начала работы цифровой аппаратуры	Координаты и высота над уровнем моря		
						φ, °N	λ, °E	h, м
1	Минск (Плещеницы)	MICGM	MIK	03.01.1963	05.06.2002	54.4186	27.7963	196
2	Нарочь	NACGM	NAR	01.10.1989	28.11.2002	54.9037	26.7930	189
3	Волоты		VOL	16.11.2011		52.9338	27.6886	149
4	Тесово		TES	16.11.2011		52.8333	27.6858	151
5	Устронь		UST	16.11.2011		52.7997	27.2256	183
6	Градовщизна		GRD	29.05.2012		54.6772	25.8094	251
7	Вадатишки		VDT	29.05.2012		54.7958	25.8019	203
8	Бояры		BOR	30.05.2012		54.6117	26.1064	177
9	Селище		SEL	30.05.2012		54.7289	26.3592	172
10	Горная Каймина		GRK	31.05.2012		54.8900	26.2039	180
11	Воробьи		VRB	31.05.2012		54.8400	26.3186	166
12	Литвяны		LTV	01.06.2012		54.8194	25.9744	179
13	Чижовка		CHJ	14.08.2013		52.9544	27.4156	154
14	Копачевичи		KAP	14.08.2013		52.6361	27.3567	143
15	Новый луг		NVL	14.08.2013		52.8903	27.2453	137
16	Махновичи		MAN	20.08.2013		52.6178	27.6367	131
17	Листопадовичи		LST	31.10.2013		52.7467	27.5169	176

Таблица 2. Параметры аппаратуры сейсмических станций Беларуси

№	Название станции	Тип станции	Тип прибора	Перечень каналов	Частот-ный диапа-зон, Гц	Часто-та опроса данных, Гц	Разряд-ность АЦП	Чувстви-тельность (велоси-граф), отсч/(м/с)	Чувстви-тельность, МкВ/отсч
1	Минск (Плещеницы)	SDAS	CM-30C	BH(N,E,Z)v LH(N,E,Z)v	0.02–10 0.02–10	20 20	16 16	1.3·10 <sup>5</sup> 1.3·10 <sup>4</sup>	
2	Нарочь	SDAS	CM-30C	BH(N,E,Z)v LH(N,E,Z)v	0.02–10 0.02–10	20 20	16 16	1.3·10 <sup>5</sup> 1.3·10 <sup>4</sup>	
3	Волоты	SDAS	СК-1П	SH(N,E,Z)v	0.10–10	100	16	1.3·10 <sup>5</sup>	
4	Тесово	Дельта-03	LE-3Dlite	N,E,Z	1–30	100	24		3.18·10 <sup>-5</sup>
5	Устронь	Дельта-03	LE-3Dlite	N,E,Z	1–30	100	24		3.18·10 <sup>-5</sup>
6	Градовщизна	Дельта-03	LE-3Dlite	N,E,Z	1–30	100	24		3.18·10 <sup>-5</sup>
7	Вадатишки	Дельта-03	LE-3Dlite	N,E,Z	1–30	100	24		3.18·10 <sup>-5</sup>
8	Бояры	Дельта-03	LE-3Dlite	N,E,Z	1–30	100	24		3.18·10 <sup>-5</sup>
9	Селище	Дельта-03	LE-3Dlite	N,E,Z	1–30	100	24		3.18·10 <sup>-5</sup>
10	Горная Каймина	Дельта-03	LE-3Dlite	N,E,Z	1–30	100	24		3.18·10 <sup>-5</sup>
11	Воробьи	Дельта-03	LE-3Dlite	N,E,Z	1–30	100	24		3.18·10 <sup>-5</sup>
12	Литвяны	Дельта-03	LE-3Dlite	N,E,Z	1–30	100	24		3.18·10 <sup>-5</sup>
13	Чижовка	Дельта-03	LE-3Dlite	N,E,Z	1–30	100	24		3.18·10 <sup>-5</sup>
14	Копачевичи	Дельта-03	LE-3Dlite	N,E,Z	1–30	100	24		3.18·10 <sup>-5</sup>
15	Новый луг	Дельта-03	LE-3Dlite	N,E,Z	1–30	100	24		3.18·10 <sup>-5</sup>
16	Махновичи	Дельта-03	LE-3Dlite	N,E,Z	1–30	100	24		3.18·10 <sup>-5</sup>
17	Листопадовичи	Дельта-03	LE-3Dlite	N,E,Z	1–30	100	24		3.18·10 <sup>-5</sup>

изменения состояния геологической среды могут происходить в результате обводнения, изменения уровня грунтовых вод, в том числе и техногенных, в результате более медленных процессов типа геодинамической активизации.

Кроме волн от землетрясений, для названных выше целей подходят также и записи от техногенных источников, например, регулярно повторяющихся карьерных взрывов. В этом смысле информативны также и записи сейсмических шумов.

Все названные средства сейсмического контроля состояния геологической среды должны отслеживаться во времени для определения стабильности параметров сейсмического поля.

### Методы обработки записей сейсмических событий

Обработка записей землетрясений осуществляется с помощью современных стандартных компьютерных программ, подробно изложенных в [Аронов и др., 2018]. Телесеизмические и региональные землетрясения обрабатывались с использованием программного комплекса WSG (система обработки сейсмических данных) [Акимов и др.], разработанной в Геофизической службе РАН. Для обработки данных, которые поступают в Центр от сети станций, используется программа UniViewer [Аронов и др., 2018; Аронов, 2016; Аронов А.Г., Аронов В.А., 2017]. 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».

Первичная обработка полученной сейсмической информации заключается в определении моментов вступлений, знаков и чёткости вступлений сейсмических волн; в измерении их амплитуд и периодов сейсмических волн; в расчёте кинематических и динамических параметров землетрясений. Обработка сейсмической информации осуществлена в трёх режимах: срочный (составление и подача сводки срочных донесений о сильном или ощутимом землетрясении в течение часа после регистрации события); оперативный (более полная обработка сейсмических событий за истекшие сутки); станционная обработка данных с составлением ежедекадных бюллетеней.

### Результаты исследований

За период 1966–2018 гг. сетью сейсмических станций, расположенных на территории Бела-

руси, зарегистрировано 60827 землетрясений в разных регионах Земли в широком диапазоне энергий и эпицентральных расстояний.

На глобальном уровне из общего числа землетрясений с магнитудой  $M=6.0-6.9$  зафиксировано 6879 событий, 762 события – с  $M=7.0-7.9$ , 36 событий – с  $M=8.0-8.9$  и два события – с  $M=9.0-9.9$ . В основном такие землетрясения приурочены к областям высокой современной тектонической активности и связаны с конвергентными или дивергентными границами литосферных плит. В этих регионах непрерывно накапливаются тектонические напряжения, которые периодически разряжаются в виде землетрясений. Наибольшая сейсмическая активность Земли наблюдалась в Тихоокеанском сейсмоактивном поясе, остальная часть энергии выделилась в Трансазиатском, Индийском и Атлантическом сейсмических поясах.

На территории Европы и в смежных областях за период 1993–2018 гг. зарегистрировано 14503 землетрясения, из них 1585 событий – с магнитудой  $M=5.0-5.9$ , 95 событий – с  $M=6.0-6.9$  и шесть событий – с  $M=7.0-7.9$ . На Европейском субконтиненте наибольшая плотность эпицентров землетрясений наблюдалась в Альпийском сейсмоактивном поясе. В пределах этого пояса выделилась основная часть суммарной сейсмической энергии, остальная её часть относится к внутриконтинентальной и океанической частям.

На локальном уровне за период 1983–2018 гг. на территории Солигорского горнопромышленного района и окружающей его территории зарегистрировано 1623 землетрясения, из них 402 события – с  $M=2.0-2.5$  и шесть событий – с  $M \geq 2.6$ . Для определения энергетического класса КР сейсмических событий за период 1983–2011 гг. использовалась номограмма Т.Г. Раутиан [Раутиан, 1964], а с 2012 г. энергетический класс  $K_d$  определяется по длительности колебаний записи, где  $t$  – длительность записей от начала колебаний до момента слияния с микросейсмами [Аронов и др., 2018]. Магнитуды всех событий были получены пересчётом из энергетических классов  $K_p$  и  $K_d$  по формуле Т.Г. Раутиан [Раутиан, 1960].

За весь период наблюдений было зафиксировано пять землетрясений, которые были ощутимыми: 1978 г. (д. Кулаки,  $M=3.0$ ,  $I_0=4-5$ ), 1983 г. (г.п. Повстынь,  $M=2.8$ ,  $I_0=4-5$ ), 1985 г. (г. Глуск,  $M=3.1$ ,  $I_0=3-4$ ), 1998 г. (пос. Погост,  $M=1.9$ ,  $I_0=4-5$  и  $M=0.8$ ,  $I_0=2-3$ ) [Aronov et al., 2014]. Сейсмические события в районе Старобинского месторождения калийных солей,

которые по механизму реализации тектонические, но по причине их возникновения – наведённые при деформации горных пород в процессе добычи калийных солей и перераспределении в связи с этим системы внутренних тектонических напряжений в массиве [Аронов и др., 2018]. Именно эту форму сейсмичности обычно специалисты подразумевают, когда говорят о техногенной сейсмичности. Основная отличительная особенность наведённой сейсмичности состоит в том, что источником её появления, наряду с естественной реакцией горного массива, служат главным образом собственные избыточные запасы упругой энергии в среде. Условия высвобождения этой формы энергии структурами земной коры при техногенных воздействиях зависят от геолого-тектонических характеристик горного массива и включающего его региона в целом [Николаев, 1994]. Анализ долговременных сейсмологических наблюдений позволяет сделать вывод о тенденции к возникновению землетрясений вне шахтного поля и о приуроченности их эпицентров к существующим в регионе разломам. Высокая сейсмическая активность в регионе разработки месторождения реализуется на фоне пренебрежимо малой активности в смежных регионах. Можно предположить, что основными причинами, вызывающими сейсмическую активность в регионе, являются, во-первых, сам факт наличия области, ослабленной подзем-

ными выработками, и во-вторых, действие тектонических сил. С увеличением объёма выработанных горных пород и, соответственно, с уменьшением эффективных упругих модулей ослабленной неоднородности, ареал распространения сейсмической активности увеличивается [Аронов и др., 2014].

На основе анализа и обобщения сейсмологических данных выполнен комплексный анализ параметров сейсмичности за период 2000–2018 гг. (рис. 2). Анализ сейсмичности показал, что на территории Земли зарегистрировано 28214 землетрясений, максимальное количество (2920) зафиксировано в 2018 г., а минимальное (886) – в 2001 г., среднегодовое значение за 19 лет – 1485 землетрясений. На территории Европы зарегистрировано 12961 землетрясение, максимальное количество (1439) зафиксировано в 2015 г., а минимальное (311) – в 2000 г., среднегодовое количество – 682. В Беларуси зарегистрировано 889 землетрясений, максимальное количество (90) зафиксировано в 2002 г., а минимальное (17) – в 2012 г., среднегодовое значение – 47. Комплексный анализ сейсмичности показал, что процесс высвобождения сейсмической энергии нестабилен, периоды роста числа событий (2002, 2015 гг.) изменяются на их снижение (2003, 2007, 2009, 2016 гг.). В отдельные годы наблюдается синхронный ход высвобождения энергии, а в другие отмечается развитие процесса в противофазе.

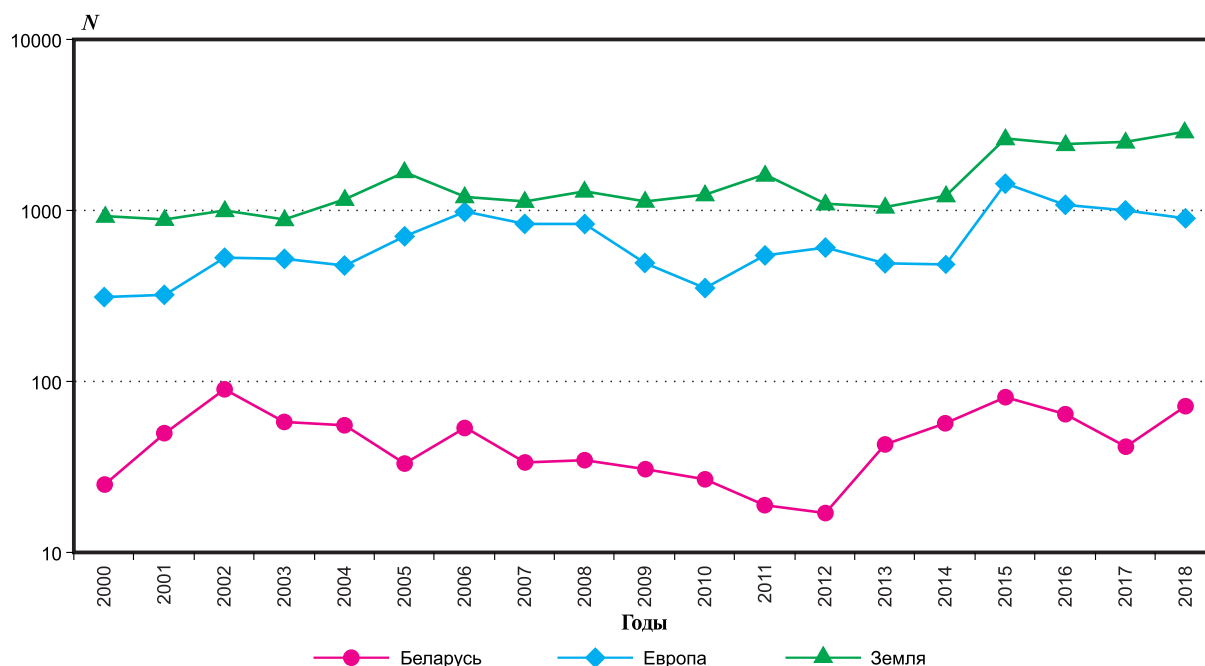


Рис. 2. График временного хода количества землетрясений на территории Земли, Европы и Беларуси за период 2000–2018 гг.

Внезапность в сочетании с огромной разрушительной силой колебаний земной поверхности часто приводят к большому числу человеческих жертв и значительному материальному ущербу. Даже относительно слабые сейсмические волны могут привести к повреждениям горных выработок и инженерных сооружений. Поэтому необходимо сразу после воздействия землетрясения оценить объем возможных разрушений на исследуемой территории. Сейсмические воздействия от зарегистрированных землетрясений разной удалённости, каталоги которых составлены в Беларуси за весь период наблюдений, рассматривались с позиций балльности по шкале MSK-64 [Медведев и др., 1965]. Балльность – это наиболее универсальный параметр, отвечающий за весь набор других параметров, по которым оценивается сейсмическое воздействие. Как известно, интенсивность сотрясений зависит от магнитуды землетрясения, эпицентрального расстояния и глубины очага. Для расчёта интенсивности на территории от удалённых и региональных землетрясений использовалась формула Н.В. Шебалина [Сейсмическое ..., 1980]:

$$I = b \cdot M - v \cdot \lg \sqrt{\Delta^2 + h^2} + c, \quad (1)$$

где  $\Delta$  – эпицентрального расстояние в км,  $h$  – глубина очага и  $M$  – магнитуда. Коэффициенты  $b$ ,  $c$  и  $v$  могут быть разными для разных регионов. Учитывая, что очаги зарегистрированных землетрясений распределены по всему миру, имеет смысл брать их средние значения по Земле, 1.5, 3.5 и 3.0 соответственно [Сейсмическое ..., 1980]. По формуле (1) был произведён расчёт интенсивности от зарегистрированных землетрясений. Заметим, что на практике балльность определяется в целых числах. Однако в расчётах допускаются и обычные числовые значения. В нашем случае воздействие в баллах вычислялось с точностью до десятых. Для всех регистрируемых далёких, региональных и местных землетрясений определялась расчётная балльность, вызванная колебаниями сейсмических волн на территории Беларуси. В табл. 3 представлена выборка землетрясений за период 2000–2018 гг., которые оказали наибольшее влияние на территорию Беларуси.

**Таблица 3.** Землетрясения и расчётные значения их интенсивности воздействия на территорию Беларуси за 2000–2018 гг.

Район	Дата, дд.мм.гггг	Время, чч:мм:сс	Магнитуда		Расчетные значения, баллы
			$m_b$	$MS$	по $MS$
<i>Сильные землетрясения Земли</i>					
Туркмения	06.12.2000	17:11:07	6.7	7.3	2.0
Индия	26.01.2001	03:16:42	7.2	7.8	1.8
Район Хоккайдо, Япония	25.09.2003	19:50:08	6.7	8.3	1.9
Западное побережье Северной Суматры	26.12.2004	00:58:52	7.1	9.1	2.9
Восточнее Курильских островов	13.01.2007	04:23:25	7.4	8.2	1.7
Провинция Сычуань, Китай	12.05.2008	06:27:58	7.0	8.1	1.8
Восточное побережье Хонсю, Япония	11.03.2011	05:46:22	7.3	9.0	2.8
У западного побережья Северной Суматры	11.04.2012	08:38:36	7.4	8.4	1.9
Юго-Восточный Иран	16.04.2013	10:44:17	7.1	7.6	1.9
Пакистан	24.09.2013	11:29:47	6.9	7.7	1.8
Непал	25.04.2015	06:11:23	7.3	7.9	1.8
Таджикистан	07.12.2015	07:50:06	6.8	7.5	1.7
Иран-Ирак пограничная область	12.11.2017	18:18:15	7.1	7.4	2.1
<i>Сильные землетрясения Европы и смежных территорий</i>					
Южная Греция	08.01.2006	11:34:53	6.8	7.2	2.3
Турция	23.10.2011	10:41:20	6.7	7.3	2.3
<i>Сильные региональные землетрясения</i>					
Калининградская область, Россия	21.09.2004	13 32 28	5.1	4.3	0.4
Румыния (зона Вранча)	27.10.2004	20:34:35	6.1	5.3	0.5
Румыния (зона Вранча)	14.05.2005	01:53:20	5.9	5.2	0.4
Румыния (зона Вранча)	25.04.2009	17:18:46	5.7	5.2	0.4
Румыния (зона Вранча)	22.11.2014	19:14:13	5.7	5.5	0.8
Румыния (зона Вранча)	23.09.2016	23:11:18	5.7	5.7	1.1

Для всех зарегистрированных землетрясений за исследованный период значение интенсивности оказалось незначительным. Наибольшее влияние на исследуемую территорию среди сильных землетрясений Земли оказало катастрофическое землетрясение, произошедшее на западном побережье Северной Суматры 26.12.2004 г. в 00:58:52 с глубиной очага  $h=33$  км, магнитудой  $M_s=9.1$  и  $m_b=7.1$ , эпицентрального расстояние  $\Delta=8320$  км, расчётное значение балльности  $I=2.9$ .

Среди сильных землетрясений Европы и смежных территорий наибольшее влияние оказали два землетрясения, произошедшие в Южной Греции 08.01.2006 г. ( $t_0=11:34:53$ ;  $h=66$  км;  $M_s=7.2$ ;  $m_b=6.8$ ;  $\Delta=1950$  км;  $I=2.3$ ) и в Турции 23.10.2011 г. ( $t_0=10:41:20$ ;  $h=10$  км;  $M_s=7.3$ ;  $m_b=6.7$ ;  $\Delta=2110$  км;  $I=2.3$ ).

Из региональных землетрясений наибольшее воздействие оказало землетрясение, произошедшее в Румынии 23.09.2016 г. ( $t_0=23:11:18$ ;  $h=90$  км;  $M_s=5.7$ ;  $m_b=5.7$ ;  $\Delta=975$  км;  $I=1.1$ ). Землетрясение, произошедшее в Калининградской области 21.09.2004 г. по макросейсмическим обследованиям ощущалось в северо-западной части Беларуси в отдельных районах 1–2 балла.

Исследование солигорских землетрясений показало, что с 2000 г. ощутимого макросейсмического эффекта от произошедших локальных землетрясений не наблюдалось.

### Выводы

Одним из наиболее эффективных подходов к оценке степени геодинамической активизации крупных регионов является сейсмологический мониторинг напряжённо-деформированного состояния среды, выполняемый в реальном времени. Проведённые исследования позволили оценить уровень возможных сейсмических воздействий для территории Беларуси и сопредельных регионов. Глобальная составляющая сеймотектонической активности в основном определяется близостью мощного Азорско-Средиземноморско-Альпийско-Трансазиатского сейсмогенного пояса. Определённую опасность представляет низкочастотная составляющая колебаний сейсмических волн от удалённых сильных глубоких землетрясений, возникающих в зоне Вранча в Восточных Карпатах на территории Румынии. При разработке Солигорского месторождения калийных солей были нарушены равновесные геодинамические условия, что вызвало критическое перераспределение напряжений в разрабатываемых пластах и вмещающих породах. Крупномасштабное

перемещение горных масс в сочетании с особенностями тектонической обстановки региона, в пределах которого находится это месторождение, стало причиной возникновения местной сейсмичности наведённого характера. Сейсмические события, происходящие в Солигорском горнопромышленном районе и окружающей его территории, относятся к индуцированной сейсмичности и являются следствием естественных деформационных процессов в регионе. Всего было зафиксировано пять землетрясений, которые были ощутимыми, от остальных произошедших локальных землетрясений ощутимого макросейсмического эффекта не наблюдалось. Выполненная количественная оценка сотрясаемости от землетрясений разной удалённости на территории Беларуси находит своё практическое применение для совершенствования карт общего и детального сейсмического районирования, решения других научных и практических задач, в том числе в рамках международного сотрудничества.

### Литература

- Акимов А.П., Красилов С.А., Пойгина С.Г. Система обработки сейсмических данных WSG [Электронный ресурс]. — URL: [http://ftp.gsras.ru/pub/wsg/WSG/DOC/WSG\\_adm.doc](http://ftp.gsras.ru/pub/wsg/WSG/DOC/WSG_adm.doc)
- Аронов А.Г. Система сейсмологического мониторинга в Беларуси // Вестник НЯЦ РК. — 2016. — Вып. 2 (66). — С. 32–37.
- Аронов А.Г., Аронов В.А. Особенности организации сейсмологической сети в Беларуси // ГеоРиск. — 2017. — № 1. — С. 40–46, 75–76.
- 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.
- 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.
- Аронов Г.А. Особенности пространственно-временной сейсмической активности в Солигорском горнопромышленном регионе // Доклады НАН Беларуси. — 2019. — Т. 63, № 2. — С. 216–222.
- Геология Беларуси / Под общ. ред. А.С. Махначи и др. — Минск: ИГН НАН Беларуси, 2001. — 815 с.
- Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. — М.: МГК АН СССР, 1965. — 11 с.

Николаев А.В. Проблемы наведённой сейсмичности // Наведённая сейсмичность. — М.: Наука, 1994. — С. 5–15.

Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика (Тр. ИФЗ АН СССР; № 32(199)). — М.: Наука, 1964. — С. 88–93.

Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности (Тр. ИФЗ АН

СССР, № 9(176)). — М.: ИФЗ АН СССР, 1960. — С. 75–114.

Сейсмическое районирование территории СССР / Отв. ред. В.И. Бунэ, Г.П. Горшков. — М.: Наука, 1980. — 308 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. — P. 125–134.

### Сведения об авторе

Аронов Геннадий Аркадьевич, директор Государственного учреждения «Центр геофизического мониторинга Национальной академии наук Беларуси» (ЦГМ НАН Беларуси), г. Минск, Республика Беларусь. E-mail: aronovg@tut.by

---

## Seismic impact of variously distant earthquakes upon the territory of Belarus

2019 G.A. Aronov

CGM NAS Belarus, Minsk, Belarus

**Abstract** The control of the geological environment is one of the most important tasks of the seismological monitoring in the territory of Belarus. The seismological monitoring in Belarus is carried out with a system of continuous round-the-clock computer-aided observations of the seismic events of natural and artificial origin in a wide range of distances and energies. The major task of the seismic environment observation network in the territory of Belarus is recording of the distant, regional and local seismic events. Since 1966 till the present the environmental monitoring network of the seismic stations located within the territory of Belarus recorded 60,876 seismic events in various regions of the Earth. The data obtained from strong distant, regional and local seismic events recorded by the seismic stations were analyzed, and the intensity of the seismic impact of the recorded earthquakes upon the studied territory was calculated using the N.V. Shebalin's formula. The results of investigations performed were used to assess the seismic impact upon the territory of Belarus. A catastrophic earthquake that occurred in the Northern Sumatra western coasts in December 26, 2004 should be mentioned first among the largest earthquakes of the Earth that exerted the strongest impact upon the studied territory. An earthquake in southern Greece in January 8, 2006 and the second one in Turkey in October 23, 2011 are the events that should be mentioned among the strongest earthquakes of Europe and its adjacent areas which impact was important for the territory under study. An earthquake in Rumania in September 23, 2016 was one of the regional earthquakes that had a strong influence on the territory of Belarus. The results of the quantitative assessment of the ground shaking from earthquakes differently distant from the territory of Belarus are used for upgrading maps of the general and local seismicity, as well as for solving several other scientific and applied problems.

**Keywords** monitoring, seismic station, earthquake, epicenter, magnitude, catalogue, seismic impact, intensity.

**For citation** Aronov, G.A. (2019). [Seismic impact of variously distant earthquakes upon the territory of Belarus]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Seismological Journal], 1(1), 92-100. (In Russ.). doi: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2019.1.09>



## References

- Akimov, A.P., Krasilov, S.A., & Poygina, S.G. (2006). [Seismic Data Processing System WSG]. Retrieved from [http://ftp.gsras.ru/pub/wsg/WSG/DOC/WSG\\_adm.doc](http://ftp.gsras.ru/pub/wsg/WSG/DOC/WSG_adm.doc) (In Russ.).
- Aronov, A.G. (2016). [System of seismological monitoring in Belarus]. *Vestnik NIATs RK* ["NNC RK Bulletin" Journal], 2(66), 32-37. (In Russ.).
- Aronov, A.G., & Aronov, V.A. (2017). [Some Features of the Seismological Networking in Belarus]. *GeoRisk*, 1, 40-46, 75-76. (In Russ.).
- 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, 125-134, <https://doi.org/10.1007/s40328-014-0042-z>
- 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 quaternary glaciation] (pp. 122-137). Moscow, Russia: Kniga i Biznes Publ. (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]. *Zemletryaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 21(2012), 218-227. (In Russ.).
- Aronov, G.A. (2019). [Features of the space – time distribution of the seismic activity within the Soligorsk mining region]. *Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 63(2), 216-222. (In Russ.). doi: <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-2-216-222>
- Bune, V.I. & Gorshkov, G.P. Eds. (1980). *Seismicheskoe raionirovanie territorii SSSR* [Seismic zoning of the USSR]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 308 p. (In Russ.).
- Nikolaev, A.V. (1994). [Problems of induced seismicity]. In *Navedjonnaja seismichnost'* [Induced seismicity] (pp. 88-93). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
- Makhnach, A.S. Ed., et al. (2001). *Geologiya Belarusi* [Geology of Belarus]. Minsk, Belarus: IGN NAN Publ., 815 p. (In Russ.).
- Medvedev, S.V., Sponheuer, W., & Karnik, V. (1965). *Shkala seismicheskoi intensivnosti MSK-64* [Seismic Intensity Scale MSK-64]. Moscow, Russia: Interdepartmental Geophysical Commission of the USSR Acad. Sci. Publ., 11 p. (In Russ.).
- Rautian, T.G. (1960) [Energy of the Earthquakes] In *Metody detal'nogo izucheniya seismichnosti. Trudy IFZ ANSSSR*, 9(176). [Methods of Detailed Study of the Seismicity. Proceedings of the IFZ SA USSR № 9(176)] (pp. 75–114). Moscow, Russia: IFZ AN SSSR. (In Russ.).
- Rautian, T.G. (1964). [On the determination of the energy of earthquakes at a distance of 3000 km]. In *Eksperimental'naiia seismika. Trudy IFZ ANSSSR* № 32(199) [Experimental seismic. Proceedings of the IFZ SA USSR № 32(199)] (pp. 88-93). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).

## Information about author

**Aronov Gennadii Arkad'evich**, Director of the Centre of Geophysical Monitoring of the National Academy of Sciences of Belarus (CGM NAS Belarus), Minsk, Belarus. E-mail: [aronovg@tut.by](mailto:aronovg@tut.by)