

БЕЛАРУСЬ

А.Г. Аронов, Р.Р. Сероглазов, Т.И. Аронова, В.М. Колковский, В.А. Аронов, О.Н. Ацута

*Центр геофизического мониторинга Национальной академии наук Беларуси,
г. Минск, centr@cgm.org.by*

Сейсмологические наблюдения на территории Беларуси проводились в 2011 г. на станциях «Минск» (MIK), «Нарочь» (NAR), «Солигорск» (SOL), «Полоцк» (PLTS), «Могилев» (MGL) (рис. 1), расположение которых осталось прежним [1, 2]. В сейсмоактивном Солигорском районе 16 ноября были открыты три новые цифровые станции – «Волоты» (VOL), «Тесово» (TES), «Устронь» (UST). Первая из них типа SDAS (Seismic digital acquisition station) российского производства, изготовленная фирмой «Геотех+» (г. Обнинск) [3] с короткопериодным (0.1–10 Гц) сейсмодатчиком СК-1П, две другие – типа Дельта-03, изготовленные в ООО «Научно-исследовательский институт «ГЕОТЕХ» (г. Москва) [4], также с короткопериодными (1–30 Гц) датчиками LE-3Dlite, изготовленные фирмой «Lennartz electronic GmbH» (Германия) [4]. Одновременно, т.е. 16 ноября 2011 г., на станции «Солигорск» (SOL) была снята аналоговая аппаратура [5].

«Солигорск» – это единственная сейсмическая станция Беларуси, по записям которой на протяжении 28 лет определялись координаты эпицентров сейсмических событий в районе Старобинского месторождения калийных солей, которые по механизму реализации тектонические, но по причине их возникновения вынужденные или наведенные при деформации горных пород в процессе добычи калийных солей и перераспределением в связи с этим системы внутренних тектонических напряжений в массиве. Суммарное число таких землетрясений с 1 января 1983 г. по 16 ноября 2011 г. составило $N_2=1258$.

Восстановим вкратце историю работы этой важной для мониторинга сейсмичности Беларуси станции. По сути, под одним названием «станция «Солигорск»» в публикуемых ежегодных обзорах сейсмичности Беларуси [6] «скрывается» три станции с разными координатами.

Первая станция «Солигорск-1» – самая глубокая с $h_1=-586$ м с координатами $\varphi_1=52.75^\circ\text{N}$, $\lambda_1=27.78^\circ\text{E}$ была установлена 1 января 1983 г. и оснащена короткопериодным сейсмографом СМ-3 с увеличением 4000–6000 [7].

Через 15 лет, с 01.01.1998 г. [8], регистрирующая аппаратура была поднята до уровня с $h_2=-436$ м с координатами $\varphi_2=52.84^\circ\text{N}$, $\lambda_2=27.47^\circ\text{E}$, т.е. это уже вторая станция «Солигорск-2», где в 1999 г. произошла смена сейсмографов на ССМ-СКМ [9]. Заметное повышение увеличения этого комплекта, до 30000, было реализовано в 2001 г. [10], сохраняясь впоследствии на близком уровне вплоть до ликвидации аналогового комплекта 16 ноября 2011 г., как указано выше. Параллельно с аналоговым комплектом с 27 июля 2007 г. на этом же постаменте была установлена цифровая станция типа CSD-20 с сейсмографом СМ-3-КВ [11].

Третья станция «Солигорск-3» в чисто цифровом варианте типа UGRA+СМ-3-КВ была открыта 1 июня 2010 г. уже на дневной поверхности с $h_3=230$ м с координатами $\varphi_3=52.7730^\circ\text{N}$, $\lambda_2=27.5398^\circ\text{E}$ [2].

Главной особенностью мониторинга землетрясений в 28-летний период, с 01.01.1983 г. по 16.10.2010 г., является нестандартный способ их обработки – по записям только одной станции «Солигорск». Определение координат эпицентра производилось по двум параметрам – эпицентральному расстоянию и азимуту на эпицентр. Эпицентральные расстояния определялись по разнице времен (t_S-t_P) вступлений S - и P -волн с использованием регионального годографа [12]. Расчеты по определению азимутов на эпицентры проводились на основе полярности первых вступлений [13]. Для определения энергетического класса K_p сейсмических событий использовалась номограмма Т.Г. Раутиан [14], а их магнитуды получены пересчетом из энергетических классов K_p по формуле Т.Г. Раутиан [15].

С 16 ноября локализация местных сейсмических событий производилась впервые в практике их обработки с 1983 г. не по одной станции, а по данным четырех названных выше цифровых станций: «Солигорск», «Волоты», «Тесово» и «Устронь». Обработка землетрясений осуществлялась с помощью современных стандартных компьютерных программ: WSG (система обработки сейсмических данных), разработанной в Геофизической службе РАН [16], и пакета компьютерных программ [17], разработанных в Центре геофизического мониторинга НАНБ (IdSeism – идентификация сейсмических явлений: выделение телсейсмических, региональных, местных (локальных) событий и взрывов; UniViewer – визуальное отображение сейсмических данных от различных файлов).

В течение 2011 г. сейсмичность на территории Беларуси проявилась, как и ранее [1], в южной ее части, включая Солигорский горнопромышленный район (рис. 1).

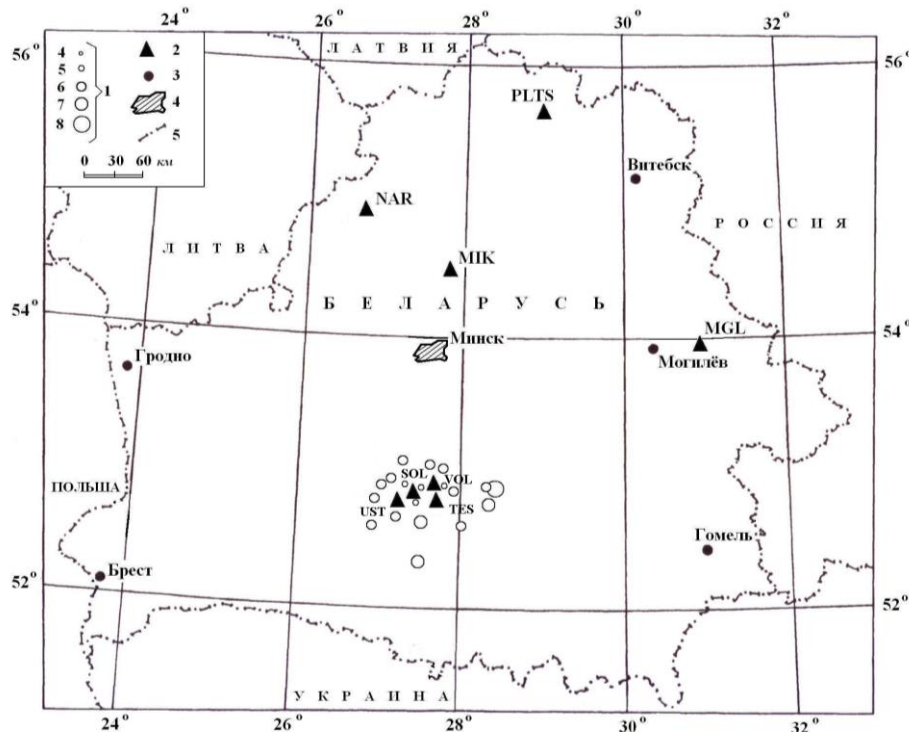


Рис. 1. Сеть сейсмических станций Беларуси и эпицентры сейсмических событий за 2011 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – сейсмическая станция; 3 – город; 4 – г. Минск; 5 – государственная граница.

Общее число зарегистрированных событий в 2011 г. составило $N=19$ [18]. Из них наименьшее имеет $K_p=5.0$, наибольшее – 8.3. Самое слабое землетрясение зафиксировано 8 марта в 03^h13^m , наибольшее значение энергетического класса отмечено 22 марта в 20^h52^m [18]. Карта эпицентров всех событий показана выше на рис. 1.

Распределение числа сейсмических событий по энергетическим классам и суммарной выделившейся сейсмической энергии по месяцам представлено в табл. 1.

Таблица 1. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_p и суммарная сейсмическая энергия ΣE за январь–декабрь 2011 г.

Месяц	K_p				N_{Σ}	$\Sigma E,$ 10^9 Дж	Месяц	K_p				N_{Σ}	$\Sigma E,$ 10^9 Дж
	5	6	7	8				5	6	7	8		
I		1			1	0.0020	VIII		1			1	0.0008
II		1			1	0.0032	IX		1			1	0.0032
III	2	1		1	4	0.2029	X		1			1	0.0004
IV		1			1	0.0016	XI		1	1		2	0.0271
V	1		1		2	0.0318	XII	1	1			2	0.0033
VI		1			1	0.0025	Всего	4	11	3	1	19	0.2987
VII		1	1		2	0.0199							

Рассматривая на рис. 2 ход сейсмического процесса в течение года, можно отметить, что максимумы высвобождения сейсмической энергии приходятся на март и май (диапазон энергетических классов $K_p=5-8$), а максимумы числа событий N – на март. Минимальные значения выделившейся энергии приходятся на август и ноябрь, а для числа событий – январь–февраль, апрель, июнь и август–октябрь.

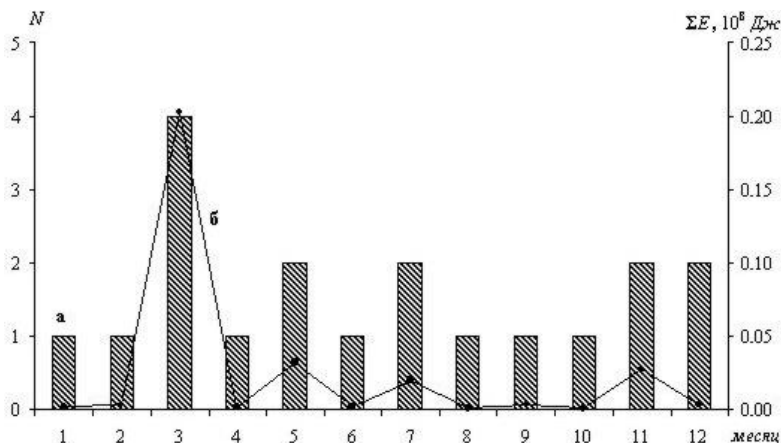


Рис. 2. Распределение числа сейсмических событий (а) и выделившейся энергии (б) за 2011 г.

Сопоставление данных 2011 г. с долговременными средними оценками N и ΣE за период 1983–2010 гг. (табл. 2) показало, что уровень выделившейся в 2011 г. сейсмической энергии, равный $\Sigma E=0.299 \cdot 10^9$ Джс, чуть выше такового в 2010 г. ($\Sigma E=0.287 \cdot 10^9$ Джс [1]), но в 8.6 раз ниже среднего его значения за 28 лет $\Sigma E=2.562 \cdot 10^9$ Джс. Число событий 2011 г. ($\Sigma N=19$) меньше в 1.4 раза, чем в 2010 г. ($\Sigma N=27$ [1]) и в 2.3 раза меньше относительно его среднего долговременного значения, равного $\Sigma N=44.39$.

Таблица 2. Годовые значения числа событий разных энергетических классов K_p и их суммарной сейсмической энергии на территории Беларуси за 1983–2010 гг. и 2011 г.

Год	K_p						N_{Σ}	$\Sigma E,$ 10^9 Джс	Год	K_p						N_{Σ}	$\Sigma E,$ 10^9 Джс
	4	5	6	7	8	9				4	5	6	7	8	9		
1983			8	4	10	1	23	2.238	1999			15	25	39		79	7.227
1984		2	10	21	12		45	2.487	2000			5	11	9		25	1.701
1985			1	9	12	1	23	4.975	2001		6	22	20	2		50	0.651
1986			3	13	29		45	5.281	2002	2	13	37	32	6		90	1.112
1987			5	10	5		20	0.969	2003		8	16	26	8		58	1.087
1988		7	8	9	2		26	0.518	2004		22	16	14	4		56	0.847
1989		2	1	2	7		12	1.580	2005	3	9	14	5	1	1	33	1.390
1990		2	17	25	45		89	7.680	2006		13	24	14	3		54	0.422
1991			6	11	13		30	2.990	2007		3	12	12	7		34	0.815
1992		1		2	10		13	1.754	2008		15	11	7	2		35	0.428
1993			2	10	20		32	4.806	2009		1	8	17	5		31	0.796
1994		1	4	15	16		36	2.709	2010		2	15	8	2		27	0.287
1995		1	6	12	25		44	4.217	Сумма	5	140	314	413	368	3	1243	71.735
1996		1	4	23	45		73	8.080	Среднее за 28 лет	0.18	5.00	11.21	14.75	13.14	0.11	44.39	2.562
1997		17	22	31	11		81	2.254	2011		4	11	3	1		19	0.299
1998		14	22	25	18		79	2.434									

В целом по региону наблюдается спад суммарной сейсмической энергии после 1999 г. с $\Sigma E=7.227 \cdot 10^9$ Джс с небольшими колебаниями до $\Sigma E=0.299 \cdot 10^9$ Джс в 2011 г., а также почти монотонный спад суммарного числа землетрясений с 2002 г. от $N_{\Sigma}=90$ до $N_{\Sigma}=19$ в 2011 г. (табл. 2, рис. 3).

В реальном времени 19 событий за 2011 г. развернуты по временной оси на рис. 4, на котором видны три периода затишья с февраля по первую декаду марта, с июля до середины августа и со второй декады октября до середины ноября. Три периода активности наблюдались в марте, когда 22 марта произошло наибольшее ($K_p=8.3$) землетрясение (1), мае и ноябре [18].

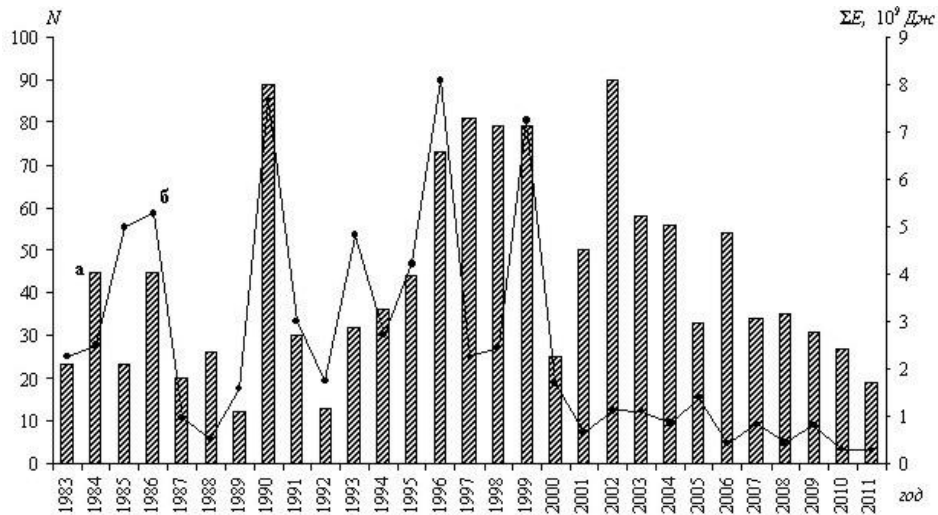


Рис. 3. Распределение числа сейсмических событий (а) и суммарной выделившейся энергии (б) по годам с 1983 г. по 2011 г.

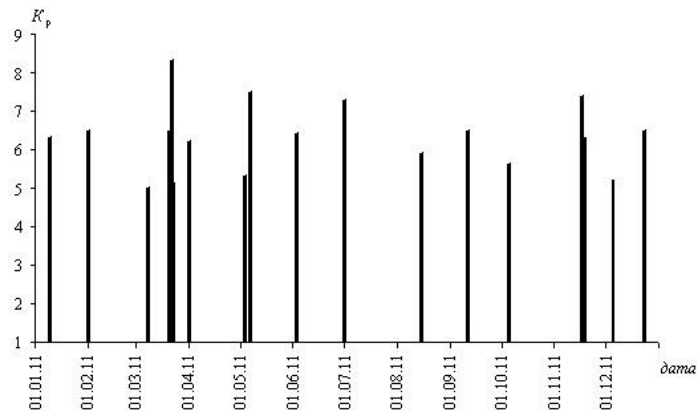


Рис. 4. Развертка сейсмических событий разных классов K_p по временной оси в 2011 г.

Распределение всех 19 событий за 2011 г. по часовым интервалам за сутки показано на рис. 5. На графике видны периоды повышения числа событий в ночное время – 02^h и 03^h, в дневное время – 20^h.

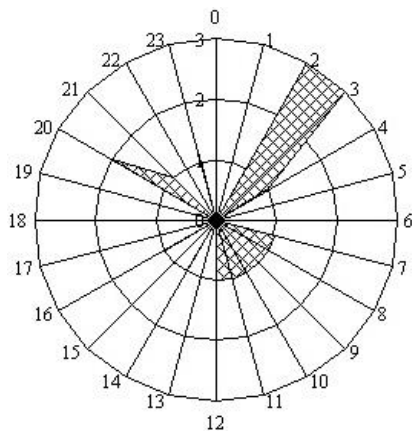


Рис. 5. Распределение сейсмических событий по часам суток в 2011 г.

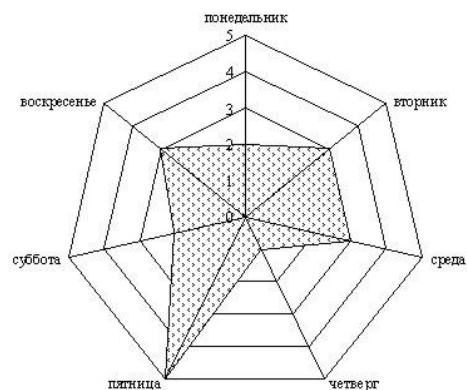


Рис. 6. Распределение сейсмических событий по дням недели в 2011 г.

На рис. 6 показано распределение всех землетрясений за 2011 г. по дням недели, среди которых максимум преобладает в пятницу.

Л и т е р а т у р а

1. Аронов А.Г., Сероглазов Р.Р., Аронова Т.И., Колковский В.М., Аронов В.А., Ацута О.Н. Беларусь // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ГС РАН, 2016. – С. 249–251.
2. Аронов А.Г., Сероглазов Р.Р., Аронова Т.И., Колковский В.М. Сейсмические станции Беларуси в 2010 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ГС РАН, 2015 – (На CD).
3. **Результаты проведения комплексных сейсмологических и геофизических наблюдений и обработки данных на базе стационарных и мобильных сейсмических сетей** // Отчет ЦОМЭ ГС РАН за 1999 год под общей ред. Д.Ю. Мехрюшева. – Обнинск: Фонды ГС РАН, 2000. – 87 с.
4. **Отчет о научно-технологических и экспериментальных геофизических работах за 2011 год** / Центр геофизического мониторинга НАН Беларуси. – Минск: Фонды Центра, 2012. – 535 с.
5. Аронов А.Г., Сероглазов Р.Р., Аронова Т.И., Колковский В.М. (сост.). Сейсмические станции Беларуси в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
6. Аронов А.Г., Сероглазов Р.Р., Аронова Т.И. и др. Беларусь // Землетрясения Северной Евразии, 1997–2010 гг. – Обнинск: ГС РАН, 2003–2016 гг.
7. Аронов А.Г., Сероглазов Р.Р., Аронова Т.И. Беларусь // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ГС РАН, 2003. – С. 172–180.
8. Аронов А.Г., Сероглазов Р.Р., Аронова Т.И. Беларусь // Землетрясения Северной Евразии в 1998 году. – Обнинск: ГС РАН, 2004. – С. 188–194.
9. Аронова Т.И. Беларусь // Землетрясения Северной Евразии в 1999 году. – Обнинск: ГС РАН, 2005. – С. 200–203.
10. Аронова Т.И. Беларусь // Землетрясения Северной Евразии в 2001 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 243–247
11. Аронов А.Г., Сероглазов Р.Р., Аронова Т.И., Ацута О.Н., Аронов В.А. Беларусь // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 236–241.
12. Аронов А.Г. Региональные годографы сейсмических волн запада Восточно-Европейской платформы // Сейсмологический бюллетень. – Минск: ОКЖИОП, 1996. – С. 136–149.
13. **Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР.** – М.: Наука, 1982. – 273 с.
14. Раутман 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.
15. Раутман Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности (Тр. ИФЗ АН СССР, № 9(176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
16. Акимов А.П., Красилов С.А., Пойгина С.Г. Система обработки сейсмических данных WSG. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/wsg/WSG/DOC/WSG_adm.doc.
17. **Отчет о специальных работах по геофизическому мониторингу опасных геодинамических явлений и процессов за 2014 год** / Центр геофизического мониторинга НАН Беларуси. – Минск: Фонды Центра, 2015. – 424 с.
18. Аронова Т.И. (отв. сост.), Ацута О.Н., Аронов В.А. (сост.). Каталог землетрясений Беларуси за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.