ISSN 1561-8331 (Print)
ISSN 2524-2342 (Online)

## *НАВУКІ АБ ЗЯМЛІ*

## *EARTH SCIENCES*

УДК 550.8.05+550.348+551.243.8
https://doi.org/10.29235/1561-8331-2024-60-4-347-352

Поступила в редакцию 29.07.2024
Received 29.07.2024

**Г. А. Аронов**

*Центр геофизического мониторинга Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь*

# СОВРЕМЕННАЯ СЕЙСМОГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ СОЛИГОРСКОГО ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО РЕГИОНА

**Аннотация.** Рассмотрены особенности проявления современной сейсмотектонической активности на территории Солигорского горнопромышленного региона, построена карта проявления сейсмотектонических процессов за период 1983–2021 гг. Для характеристики проявления современной сейсмогеодинамической активности в регионе применялась комплексная методика, базирующаяся на многолетнем мониторинге сейсмических событий. Установлено, что распределение землетрясений вдоль разломов происходило неоднородно в пространстве и во времени. На основе выполненных исследований был определен сейсмотектонический потенциал сейсмоактивных зон разломов Солигорского горнопромышленного региона.

**Ключевые слова:** месторождение, мониторинг, сейсмическая станция, землетрясение, магнитуда, энергетический класс, эпицентр, разлом

**Для цитирования**. Аронов Г. А. Современная сейсмогеодинамическая активность Солигорского горнопромышленного региона / Г. А. Аронов // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2024. – Т. 60, № 4. – С. 347–352. https://doi.org/10.29235/1561-8331-2024-60-4-347-352

**G. A. Aronov**

*Centre of Geophysical Monitoring of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

# RECENT SEISMOGEODYNAMIC ACTIVITY WITHIN THE SOLIGORSK MINING REGION

**Abstract.** Some features of the recent seismotectonic activity manifestation within the Soligorsk mining region are considered. A map showing the seismodynamic events recorded in the Soligorsk mining region within 1983–2021 was created. A comprehensive method based on long-term monitoring of seismic events was used to describe the recent seismogeodynamic activity manifestation in the region. It was established that the earthquake arrangement along the fault lines was non-uniform in space and time. The investigations performed were used to determine the seismotectonic potential of seismically active fault zones in the Soligorsk mining region.

**Keywords:** deposit, monitoring, seismic station, earthquake, magnitude, energy class, epicenter, fault

**For citation.** Aronov G. A. Recent seismogeodynamic activity within the Soligorsk mining region. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series,* 2024, vol. 60, no. 4, pp. 347–352 (in Russian). https://doi.org/10.29235/1561-8331-2024-60-4-347-352

**Введение.** В работе рассматриваются типы геоэкологических рисков, не связанных непосредственно с конкретными условиями разработки Солигорского месторождения калийных солей, а обусловленных фактом сейсмогеодинамической активности Солигорского горнопромышленного региона. Эти риски вызываются активизацией разломов на территории разработки месторождения вследствие изменения напряжений в горизонтах, подверженных воздействию природных тектонических сил. Пространственное развитие геодинамического процесса, связанного с сейсмичностью, выходит за пределы шахтных полей, охватывая и области, примыкающие к району непосредственных горных работ. Сейсмогеодинамическая активность определяется геометрией разломов в регионе и характером региональных тектонических напряжений. При этом выявляются закономерности взаимосвязи сейсмичности и напряжений в региональных разломах [1, 2]. Это особенно важно для прогноза геоэкологических рисков в районах планируемых шахтных работ.

© Аронов Г. А., 2024

региональном разломе наиболее активным по количеству землетрясений (25) был период с 1999 по 2004 г., а по величине выделившейся суммарной сейсмической энергии ($\Sigma E = 5{,}3658 \cdot 10^9$ Дж) – период 1983–1987 гг. Наиболее сильное землетрясение, приуроченное к этому разлому, зарегистрировано 17 октября 1985 г. в восточной части зоны разлома с параметрами ($K = 9{,}5$, $M = 3{,}1$, $E = 3{,}1623 \cdot 10^9$ Дж). Сейсмодислокации по разлому – сбросо-сдвиги.

*Сейсмотектонический потенциал активной зоны Налибокского регионального разлома.* Всего за период 1983–2021 гг. зарегистрировано три землетрясения в диапазоне энергетических классов $K = 5{,}9–8{,}4$ (магнитуда $M = 1{,}0–2{,}4$) с суммарной величиной выделившейся сейсмической энергии $\Sigma E = 0{,}4105 \cdot 10^9$ Дж. Зарегистрированные землетрясения по Налибокскому разлому находятся в пределах 53,150–53,205° северной широты и 27,501–27,580° восточной долготы. Эта зона разлома является сейсмоактивной, землетрясения проявляются в центральной, восточной и западной частях. Анализ развития сейсмического процесса в Налибокском региональном разломе показал, что наибольшая сейсмическая активность проявилась в 1995 г., когда произошло два землетрясения с величиной выделившейся суммарной сейсмической энергии $\Sigma E = 0{,}4097 \cdot 10^9$ Дж. Наиболее сильное землетрясение, приуроченное к этому разлому, зарегистрировано 6 августа 1995 г. в восточной части зоны разлома ($K = 8{,}4$, $M = 2{,}4$, $E = 0{,}2512 \cdot 10^9$ Дж).

*Сейсмотектонический потенциал активной зоны Ляховичского регионального разлома.* Всего за период 1983–2021 гг. зарегистрировано 381 землетрясение в диапазоне энергетических классов $K = 4{,}2–9{,}2$ (магнитуда $M = 0{,}1–2{,}9$) с суммарной величиной выделившейся сейсмической энергии $\Sigma E = 7{,}8225 \cdot 10^9$ Дж. Зарегистрированные землетрясения по Ляховичскому региональному разлому находятся в пределах 52,738–53,037° северной широты и 26,830–28,034° восточной долготы. Вся зона разлома является сейсмоактивной, землетрясения проявляются как в центральной, так и в ее восточной и западной частях. Сейсмическая активизация проявляется периодически. Для Ляховичского регионального разлома наиболее активным по количеству землетрясений (169) и наибольшей величине выделившейся суммарной сейсмической энергии ($\Sigma E = 4{,}5929 \cdot 10^9$ Дж) был период 2012–2021 гг. Наиболее сильное землетрясение, приуроченное к этому разлому, зарегистрировано 3 сентября 2021 г. в восточной части ($K = 9{,}2$, $M = 2{,}9$, $E = 1{,}4454 \cdot 10^9$ Дж). Сейсмодислокации по разлому – сбросы.

*Сейсмотектонический потенциал активной зоны Речицкого регионального разлома.* Всего за период 1983–2021 гг. зарегистрировано 90 землетрясений в диапазоне энергетических классов землетрясений с $K = 4{,}8–8{,}8$ (магнитуда $M = 0{,}4–2{,}7$) с суммарной величиной выделившейся сейсмической энергии $\Sigma E = 2{,}3194 \cdot 10^9$ Дж. Зарегистрированные землетрясения по Речицкому региональному разлому находятся в пределах 52,758–52,980° северной широты и 27,520–28,460° восточной долготы. Вся зона разлома является сейсмоактивной, землетрясения в основном проявляются в западной части. Только в 2010–2012 гг. землетрясения происходили в восточной части анализируемой зоны. Для Речицкого регионального разлома наиболее активным по количеству землетрясений (45) был период 1997–2009 гг., а наибольшая величина суммарной сейсмической энергии ($\Sigma E = 1{,}0847 \cdot 10^9$ Дж) выделилась в период 2013–2021 гг. Самое сильное землетрясение, приуроченное к этому разлому, зарегистрировано 18 ноября 2014 г. в западной части ($K = 8{,}8$, $M = 2{,}7$, $E = 0{,}6310 \cdot 10^9$ Дж). Сейсмодислокации по разлому – сбросо-сдвиги.

*Сейсмотектонический потенциал активной зоны Червонослободско-Малодушинского регионального разлома.* Всего за период 1983–2021 гг. зарегистрировано 130 землетрясений в диапазоне энергетических классов землетрясений $K = 4{,}8–8{,}6$ (магнитуда $M = 0{,}4–2{,}5$) с суммарной величиной выделившейся сейсмической энергии $\Sigma E = 8{,}8824 \cdot 10^9$ Дж. Зарегистрированные землетрясения по Червонослободско-Малодушинскому региональному разлому находятся в пределах 52,563–52,845° северной широты и 26,846–28,293° восточной долготы. Вся зона разлома является сейсмоактивной, землетрясения проявляются в центральной, восточной и западной частях. Для Червонослободско-Малодушинского регионального разлома наиболее активным по количеству землетрясений (79) и наибольшей величине выделившейся суммарной сейсмической энергии ($\Sigma E = 6{,}5842 \cdot 10^9$ Дж) был период 1983–2004 гг. Наиболее сильное землетрясение, приуроченное к этому разлому, зарегистрировано 12 сентября 2021 г. в восточной части разлома ($K = 8{,}6$, $M = 2{,}5$, $E = 0{,}3802 \cdot 10^9$ *Дж*). Сейсмодислокации по разлому – сбросо-сдвиги.

*Сейсмотектонический потенциал активной зоны Копаткевичского локального разлома.* Всего за период 1983–2021 гг. зарегистрировано 37 землетрясений в диапазоне энергетических

классов землетрясений $K$ = 6,0–8,5 (магнитуда $M$ = 1,1–2,5) с суммарной величиной выделившейся сейсмической энергии $\Sigma E = 5{,}2701 \cdot 10^9$ Дж. Зарегистрированные землетрясения по Копаткевичскому локальному разлому находятся в пределах 52,480–52,630° северной широты и 26,930–28,020° восточной долготы. Вся зона разлома является сейсмоактивной. Землетрясения в основном происходили в западной части зоны. Для Копаткевичского локального разлома наиболее активным по количеству землетрясений (26) и наибольшей величине выделившейся суммарной сейсмической энергии ($\Sigma E = 4{,}1610 \cdot 10^9$ Дж) был период 1990–2003 гг. Самые сильные землетрясения, приуроченные к этому разлому, зарегистрированы в западной (16 апреля 1986 г., 5 ноября 1989 г., 1 марта 1994 г.), центральной (28 апреля 1990 г., 2 октября 1993 г., 24 ноября 1995 г.) и восточной (8 мая 1993 г.) частях ($K$ = 8,5, $M$ = 2,5, $E = 0{,}3162 \cdot 10^9$ Дж). Сейсмодислокации по разлому – сбросо-сдвиги.

*Сейсмотектонический потенциал активной зоны Шестовичского регионального разлома.* Всего за период 1983–2021 гг. зарегистрировано 7 землетрясений в диапазоне энергетических классов землетрясений $K$ = 5,0–8,5 (магнитуда $M$ = 0,5–2,5) с суммарной величиной выделившейся сейсмической энергии $\Sigma E = 0{,}6276 \cdot 10^9$ Дж. Зарегистрированные землетрясения по Шестовичскому региональному разлому находятся в пределах 52,232–52,437° северной широты и 27,614–28,220° восточной долготы. Исследуемая зона разлома является сейсмоактивной, землетрясения проявляются как в центральной, так в ее восточной и западной частях. Для Шестовичского регионального разлома наиболее активным по количеству землетрясений (6) и наибольшей величине выделившейся суммарной сейсмической энергии ($\Sigma E = 0{,}3114 \cdot 10^9$ Дж) был период 2010–2017 гг. Наиболее сильное землетрясение зарегистрировано 23 марта 1992 г. в восточной части ($K$ = 8,5, $M$ = 2,5, $E = 0{,}3162 \cdot 10^9$ Дж).

*Сейсмотектонический потенциал активной зоны Стоходско-Могилевского суперрегионального разлома.* Всего за период 1983–2021 гг. зарегистрировано 361 землетрясение в диапазоне энергетических классов землетрясений $K$ = 4,4–9,0 (магнитуда $M$ = 0,2–2,8) с суммарной величиной выделившейся сейсмической энергии $\Sigma E = 9{,}3275 \cdot 10^9$ Дж. Зарегистрированные землетрясения по Стоходско-Могилевскому разлому находятся в пределах 52,610–53,250° северной широты и 26,690–28,320° восточной долготы. Вся зона является сейсмоактивной, землетрясения проявляются в центральной, восточной и западной частях. Для Стоходско-Могилевского разлома наиболее активным по количеству землетрясений (216) и наибольшей величине выделившейся суммарной сейсмической энергии ($\Sigma E = 4{,}0862 \cdot 10^9$ Дж) был период 2013–2021 гг. Наиболее сильное землетрясение зарегистрировано 1 декабря 1983 г. в восточной части ($K$ = 9,0, $M$ = 2,8, $E = 1{,}0000 \cdot 10^9$ Дж). Сейсмодислокации по разлому – сбросо-сдвиги.

*Сейсмотектонический потенциал активной зоны Сколодинского регионального разлома.* Всего за период 1983–2021 гг. зарегистрировано 1 землетрясение, которое произошло 3 февраля 1990 г. с энергетическим классом $K$ = 6,8, магнитудой $M$ = 1,6 и выделившейся энергией $E = 0{,}0063 \cdot 10^9$ Дж в западной части разлома. Сколодинский региональный разлом в изучаемом регионе находится в пределах 26,900–28,400° восточной долготе. Координаты эпицентра зарегистрированного землетрясения составляют 52,030° северной широты и 27,130° восточной долготы. Сколодинский региональный разлом является сейсмогенным, но с очень слабым проявлением сейсмической активности. Однако через 30 лет в восточной части разлома 6 мая 2024 г. произошло землетрясение ($K$ = 7,8, $M$ = 2,1, $E = 0{,}0661 \cdot 10^9$ Дж).

*Сейсмотектонический потенциал активной зоны Выжевско-Минского суперрегионального разлома.* Всего за период 1983–2021 гг. зарегистрировано 1 землетрясение, которое произошло 22 августа 1989 г. с энергетическим классом $K$ = 8,0, магнитудой $M$ = 2,2 и выделившейся энергией $E = 0{,}1000 \cdot 10^9$ Дж в северо-восточной части. Выжевско-Минский разлом в изучаемом регионе находится в пределах 26,000–26,500° восточной долготе. Координаты эпицентра зарегистрированного землетрясения составляют 53,150° северной широты и 26,430° восточной долготы. Выжевско-Минский суперрегиональный разлом является сейсмогенным, но с очень слабой сейсмической активностью.

**Заключение.** По результатам анализа сейсмотектонического потенциала активных зон сейсмогенных разломов в Солигорском горнопромышленном регионе определена их сейсмотектоническая активность. Наиболее активным по количеству произошедших землетрясений (381) является Ляховичский региональный разлом. Наибольшая суммарная величина сейсмической

энергии $\Sigma E = 9{,}3275 \cdot 10^9$ Дж выделилась в Стоходско-Могилевском супперегиональном разломе. Наиболее сильное землетрясение зарегистрировано 17 октября 1985 г. с энергетическим классом $K = 9{,}5$ (магнитуда $M = 3{,}1$) и выделившейся сейсмической энергией $E = 3{,}1623 \cdot 10^9$ Дж в Северо-Припятском супперегиональном разломе. Таким образом, можно сделать вывод, что определяющим фактором для сейсмотектонического потенциала активной зоны разлома является не только количество зарегистрированных сейсмических событий, но и величина сейсмической энергии, выделившейся в сейсмоактивной зоне разлома.

## Список использованных источников

1. Аронов, Г. А. Тектонические разрывные нарушения и сейсмическая активность в районе Старобинского месторождения калийных солей / Г. А. Аронов // Проблемы тектоники континентов и океанов: материалы LI Тектон. совещ. – М.: ГЕОС, 2019. – Т. 1. – С. 22–26.

2. Аронов, Г. А. Сейсмотектонические исследования в районе Старобинского месторождения калийных солей / Г. А. Аронов // Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов: материалы I Междунар. науч.-практ. конф. / отв. ред. И. И. Косинова, А. И. Павловский, В. И. Попов. – Воронеж: Истоки, 2020. – С. 106–110.

3. Аронов, А. Г. Мониторинг индуцированной сейсмичности в районе Старобинского месторождения калийных солей в Беларуси / А. Г. Аронов, Г. А. Аронов // Вестн. Нац. ядерного центра Респ. Казахстан. – 2018. – Вып. 2. – С. 129–134. https://doi.org/10.52676/1729-7885-2018-2-129-134

4. Аронов, Г. А. Особенности пространственно-временной сейсмической активности в Солигорском горнопромышленном регионе / Г. А. Аронов // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2019. – Т. 63, № 2. – С. 216–222. https://doi: 10.29235/1561-8323-2019-63-2-216-222

5. Геология Беларуси / А. С. Махнач [и др.]. – Минск, 2001. – 815 с.

6. Месторождения калийных солей Беларуси: геология и рациональное недропользование / Э. А. Высоцкий [и др.]. – Минск: Изд-во БГУ, 2003. – 264 с.

7. Разломы земной коры Беларуси / Р. Е. Айзберг [и др.]. – Минск: Красико-Принт, 2007. – 372 с.

8. Введенская А. В. Исследование напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций / А. В. Введенская. – М.: Наука, 1969. – 135 с.

9. Frohlich, C. Triangle diagrams: Ternary graphs to display similarity and diversity of earthquake focal mechanisms / C. Frohlich // Phys. Planetary interiors. – 1992. – Т. 75, № 1–3. – P. 193–198. https://doi: 10.1016/0031-9201(92)90130-N.

10. Аронов, Г. А. Динамика миграции зон группирования эпицентров землетрясений в северо-западной части Припятского прогиба / Г. А. Аронов // Анализ, прогноз и управление природными рисками с учетом глобального изменения климата – ГЕОРИСК-2018: материалы X Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т. – М., 2018. – Т. 1. – С. 262–267.

## References

1. Aronov G. A. Tektonicheskie razryvnye narushenija i sejsmicheskaja aktivnost’ v rajone Starobinskogo mestorozhdenija kalijnyh solej [*Tectonic rupture dislocations and seismic activity in the region of the Starobin potassium salt deposit*]. *Problemy tektoniki kontinentov i okeanov: materialy LI Tektonicheskogo soveshhanija* [*Proc. LI Tectonic Conference “Problems of Tectonics of the Continents and Oceans”*], Moscow, GEOS Publ., 2019, vol. 1, pp. 22–26 (in Russian).

2. Aronov G. A. Sejsmotektonicheskie issledovanija v rajone Starobinskogo mestorozhdenija kalijnyh solej [*Seismotectonic investigations in the region of the Starobin potassium salt deposit*]. Zakonomernosti transformatsii ekologicheskikh funkcii geosfer krupnyh gornopromyshlennykh regionov: materialy I Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [*Proc. I International Scientific and Practical Conference “Patterns of Transformation of the Geosphere Ecological Functions of Large Mining Regions”*], Voronezh, Istoki Publ., 2020, pp. 106–110 (in Russian).

3. Aronov A. G., Aronov G. A. *Induced seismicity monitoring in the region of the Starobin potassium salt deposit in Belarus*. *Vestnik Natsional’nogo yadernogo tsentra Respubliki Kazahstan = Newsletters of the National Nuclear Centre of the Republic of Kazakhstan*, 2018, iss. 2, pp. 129–134 (in Russian). https://doi.org/10.52676/1729-7885-2018-2-129-134

4. Aronov G. A. Some peculiarities of the space – time distribution of the seismic activity within the Soligorsk mining region. *Doklady Natsional´noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus,* 2019, vol. 63, no. 2, pp. 216–222 (in Russian). https://doi: 10.29235/1561-8323-2019-63-2-216-222

5. Makhnach A. S., Garetsky R. G., Matveyev A. V. et al. *Geology of Belarus*. Minsk, *Institute of Geological Sciences of the NAS of Belarus*, 2001, 815 p. (in Russian).

6. Vysotsky E. A., Gubin V. N., Smychnik A. D., Shemet S. F., Yashin I. A. *Potassium salt deposits of Belarus: geology and efficient management of mineral resources*. Minsk, BGU Publ., 2003, 264 p. (in Russian)

7. Aizberg R. Ye., Garetsky R. G., Karabanov A. K. et al. [*Faults of the Earth’s crust of Belarus*] Minsk, Krasiko-Print Publ., 2007, 372 p. (in Russian)

8. Vvedenskaya A.V. *Investigation of stresses and ruptures in earthquake foci using dislocation theory*. Moscow: Nauka Publ., 1969, 135 p. (in Russian)

9. Frohlich C. Triangle diagrams: Ternary graphs to display similarity and diversity of earthquake focal mechanisms. *Physics of the Earth and Planetary interiors*, 1992, vol.75, no. 1–3, pp. 193–198. https://doi 10.1016/0031-9201(92)90130-N

10. Aronov G. A. Dinamika migratsii zon gruppirovaniya epitsentrov zemletryaseniy v severo-zapadnoi chasti Pripyatskogo progiba [*Dynamics of migration of the earthquake epicenter grouping zones in the northwestern part of the Pripyat Trough*]. Materialy X Mezhdunarodnoi nauchno-practicheskoi konferentsii “GEORISK-2018”, v 2 t. [*Proc. X Int. Conf. “GEORISK-2018”, in 2 vol.].* Moscow, RUDN University, 2018, vol. 1, pp. 262–267. (in Russian)

## Информация об авторе

*Аронов Геннадий Аркадьевич* – директор. Центр геофизического мониторинга НАН Беларуси (ул. Академика Купревича, 1/3, 220084, Минск, Республика Беларусь). E-mail: aronovg@tut.by

## Information about the author

*Aronov Gennady* A. – Director. Centre of Geophysical Monitoring of the National Academy of Sciences of Belarus (1/3, Academician Kuprevich Str., 220084. Minsk, Republic of Belarus). E-mail: aronovg@tut.by