



Сейсмотектоническая активность Ляховичского разлома в Припятском прогибе

Г. А. Аронов

Центр геофизического мониторинга Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь, aronovg@tut.by

Основным результатом работы стало выявление современного сейсмотектонического режима активной зоны Ляховичского регионального разлома. Выполнено построение площадного и пространственно-временного распределения эпицентров землетрясений вдоль разлома. Определены координаты сейсмоактивной зоны разлома, которая находится в пределах по северной широте $52.728–53.037^\circ$ и восточной долготы $26.830–28.034^\circ$. Установлено, что распределение землетрясений вдоль разлома происходило неоднородно в пространстве и во времени. Самым активным по количеству землетрясений (169) и наибольшей величине выделившейся суммарной сейсмической энергии ($4.5929 \cdot 10^9$ Дж) был период 2012–2021 гг. Самое сильное землетрясение зафиксировано 03.09.2021 г. в восточной части разлома с магнитудой $M = 2.9$. В результате выполненных построений получено значение сейсмодислокации по разлому, которое соответствует кинематическому типу сброса. Для характеристики проявления современной сейсмогеодинамической активности в зоне Ляховичского разлома применялась комплексная методика, базирующаяся на многолетнем мониторинге за сейсмическими событиями. На основе выполненных исследований был определен сейсмотектонический потенциал сейсмоактивной зоны Ляховичского разлома.

Ключевые слова: землетрясение, эпицентр, магнитуда, разлом, тектоника, геодинамика, сейсмотектоническая активность

Seismotectonic activity of the Lyakhovichi fault in the Pripyat trough

G. A. Aronov

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

The main result of the work was the identification of the present-day seismotectonic regime of an active zone of the Lyakhovichi regional fault. The areal and space-time distribution of the earthquake epicenters along the fault line was reconstructed. The coordinates of the seismically active fault zone located within an area of $52.738–53.037^\circ$ N and $26.830–28.034^\circ$ E were determined. It was found that the distribution of earthquakes along the fault line occurred non-uniformly in space and time. The period from 2012 till 2021 was the most active one by the quantity of occurred earth quakes (169) and released total seismic energy ($4.5929 \cdot 10^9$ J). The strongest earthquake with a magnitude $M = 2.9$ was recorded in the eastern part of the fault on September 03, 2021. Our reconstructions determined the value of seismic dislocation along the fault, which corresponded to the kinematic slip fault. To characterize the modern seismogeodynamic activity in the Lyakhovichi fault zone, a comprehensive technique based on long-term monitoring of seismic events was used. Based on the performed studies, the seismotectonic potential of the seismoactive zone of the Lyakhovichi fault was determined.

Keywords: earthquake, epicentre, magnitude, fault, tectonics, geodynamics, seismotectonic activity

Введение

Припятский прогиб расположен на древней Восточно-Европейской платформе. Прогиб представляет собой субширотно вытянутый грабен, расположенный между периклиналями Белорусской и Воронежской антеклиз и Жлобинской седловины на севере и Украинским щитом на юге. Максимальная длина прогиба около 280 км, ширина до 130 км. От Украинского щита прогиб отделен Южно-Припятским краевым разломом, представляющим собой зону сбросов общей амплитудой по поверхности фундамента до 2–4 км. Северной границей является Северо-Припятский краевой разлом, состоящий из серии кулисообразно подставляющих друг друга разрывов типа сбросов с суммарной амплитудой до 3.5 км (Аронов, 2020а; Махнач и др., 2001). Солигорский горнопромышленный регион, расположенный в северо-западной части Припятского прогиба, характеризуется ано-

мально высоким уровнем техногенной нагрузки на недра. Здесь расположено уникальное, крупнейшее в Европе Старобинское месторождение калийных солей, которое было открыто в 1949 г. и разрабатывается с начала 1960-х годов (Высоцкий и др., 2003).

Объектами исследования являются сейсмические события, происходящие в Солигорском горнопромышленном регионе. В связи с этим организация и качество сейсмических наблюдений должны соответствовать задачам, которые решают службы сейсмологического мониторинга. К основным опасностям, возникающим при проведении подземных шахтных работ, относится возникновение индуцированной сейсмичности. Как правило, для оценки и прогноза степени сейсмической опасности в районе месторождения организуется регулярный мониторинг сейсмической обстановки. Риск возникновения индуцированной сейсмичности вызывается активизацией разломов в гор-

Для цитирования: Аронов Г. А. Сейсмотектоническая активность Ляховичского разлома в Припятском прогибе // Вестник геонаук. 2024. 8 (356). С. 15–20. DOI: 10.19110/geov.2024.8.2

For citation: Aronov G. A. Seismotectonic activity of the Lyakhovichi fault in the Pripyat trough. Vestnik of Geosciences, 2024, 8 (356), pp. 15–20, doi: 10.19110/geov.2024.8.2

нопромышленном регионе, где вследствие разработки месторождения осадочных руд происходят изменения тектонических напряжений в подземных горизонтах. Пространственное развитие геодинамического процесса в виде проявления сейсмической активности выходит за пределы шахтных полей, охватывая территории, примыкающие к району непосредственных горных работ. Осредненные характеристики сейсмичности слабо зависят от особенностей технологии проведения выемок пород и в первую очередь определяются геометрией разломов в регионе и характером региональных тектонических напряжений. В связи с этим возникает актуальная задача выявить закономерности взаимосвязи пространственно-временного распределения сейсмической активности с возникающими напряжениями земной коры в районах разработки месторождений полезных ископаемых (Аронов, 2019а).

Материалы и методы

Основными исходными данными для сейсмологических исследований являются результаты непрерывных круглосуточных наблюдений на сейсмических станциях; эти работы в регионе были начаты в 1983 г. на сейсмической станции «Солигорск». Для определения пространственно-временных и энергетических параметров очагов сейсмических событий в районе месторождения в 2013 году была создана локальная сеть из 8 сейсмических станций: Волоты (код VOL), Тесово (TES), Устронь (UST), Чижевка (CHJ), Копачевичи (KAP), Новый луг (NVL), Махновичи (MAH), Листопадовичи (LST). Локальная сеть представляет собой автоматизированную цифровую систему наблюдений в режиме реального времени, технические средства которой состоят из измерительного оборудования: сейсмометров, фиксирующих движения почвы, возникающие в результа-

те распространения сейсмических волн; регистрирующего оборудования — аппаратуры, обеспечивающей запись сигналов от сейсмометров; средств связи для передачи данных в центр сбора и обработки данных; управляющих микропроцессорных модулей; системы энергообеспечения. Все цифровые станции работают в непрерывном режиме с передачей информации через мобильную сеть в центр сбора информации в Минске. Обработка данных о сейсмических событиях осуществлялась с помощью пакета компьютерных программ: UniViewer, IdSeism, EmulEq, Hyposat, Seisan.

На этой основе была проведена идентификация сейсмических событий, в том числе выделение региональных и местных (локальных) землетрясений, промышленных взрывов, источников природных и техногенных шумов. Интерпретация данных о сейсмических событиях позволила определить время развития события в очаге, координаты эпицентра, глубины очага и его энергетический уровень. Таким образом, после многолетних наблюдений и обработки сейсмических данных были получены инструментальные записи местных землетрясений, установлены их кинематические и динамические параметры, составлены соответствующие бюллетени и каталоги. Первичная фактографическая информация и результаты ее обработки (сейсмологические бюллетени и каталоги землетрясений) системно размещены в специально созданных базах данных.

Результаты и их обсуждение

На основе экспериментальных данных записей сейсмических событий и каталогов землетрясений составлена карта проявления сейсмотектонических процессов в Солигорском горнопромышленном регионе за период с 1983 по 2021 г. (рис. 1).

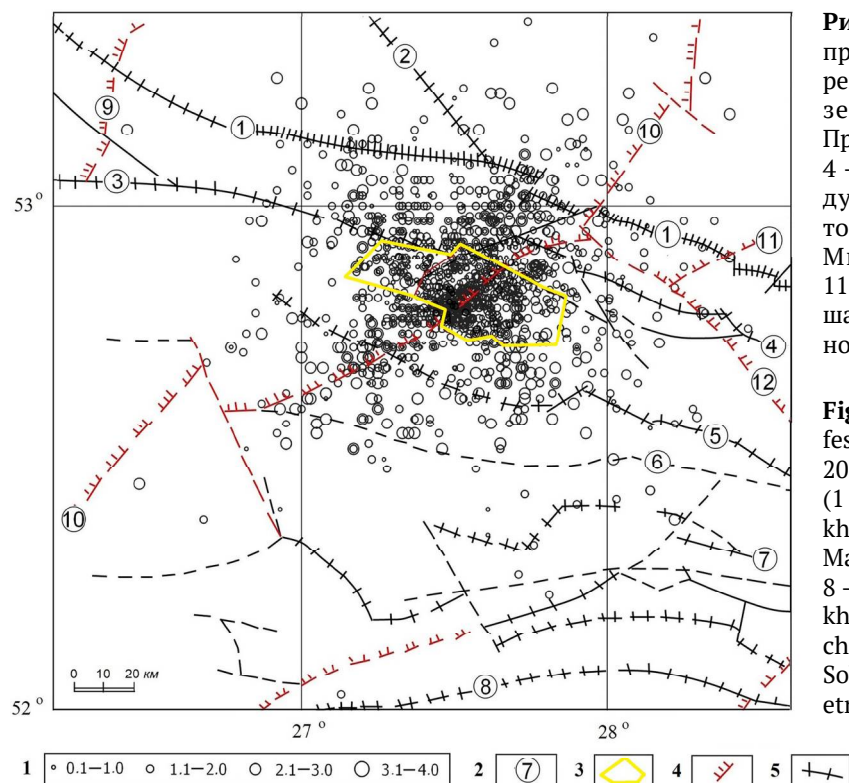


Рис. 1. Карта проявления сейсмотектонических процессов в Солигорском горнопромышленном регионе за период 1983–2021 гг.: 1 — магнитуда землетрясения; 2 — разломы (1 — Северо-Припятский, 2 — Налибокский, 3 — Ляховичский, 4 — Речицкий, 5 — Червонослободско-Малодушинский, 6 — Копаткевичский, 7 — Шестовичский, 8 — Сколодинский, 9 — Выжевско-Минский, 10 — Стоходско-Могилевский, 11 — Кричевский, 12 — Чечерский); 3 — граница шахтных полей Солигорского горнопромышленного региона; 4 — разломы, не проникающие в чехол; 5 — разломы, проникающие в чехол

Fig. 1. Map of the seismotectonic processes manifested in the Soligorsk mining region within 1983–2021: 1 — magnitude of the earthquake; 2 — faults (1 — Severo-Pripyatsky, 2 — Naliboksky, 3 — Lyakhovichy, 4 — Rechitsky, 5 — Chervonoslobodsko-Malodushinsky, 6 — Kopatkevich, 7 — Shestovichy, 8 — Skolodinsky, 9 — Vyzhevsko-Minsk, 10 — Stokhodsko-Mogilevsky, 11 — Krichesky, 12 — Chchersky); 3 — the border of the mine fields of the Soligorsk mining region; 4 — faults that do not penetrate into the cover; 5 — faults that penetrate into the cover



Сопоставление распределения эпицентров землетрясений с разломной тектоникой региона показывает, что многие разломы в регионе сейсмоактивны. Наблюдается приуроченность землетрясений к следующим разломам: северо-восточного простирания — Стоходско-Могилевскому, Кричевскому, Выжевско-Минскому и субширотного простирания — Северо-Припятскому, Ляховичскому, Речицкому, Червонослободско-Малодушенскому, Копаткевичскому, Шестовичскому, Сколодинскому. Для остальной части землетрясений не установлена их приуроченность к разломным зонам (Аронов, 2019а; 2019b).

Ляховичский разлом относится к региональным разломам. Его основные параметры: длина — 125 км в пределах площади Солигорского горнопромышленного региона; зона динамического влияния — 4–5 км; средний азимут простирания — $97-106^\circ$; глубинность — мантийный; характеристика плоскости — наклонный; время формирования — платформенный период; степень сейсмической активности — сейсмогенный (Айзберг и др., 2007).

За период 1983–2021 гг. зарегистрировано 381 землетрясение с эпицентрами в пределах сейсмоактивной зоны Ляховичского регионального разлома в диапазоне энергетических классов $K = 4.2-9.2$ (магнитуда $M = 0.1-2.9$) (Аронов, 2019b; 2020b). Сейсмические события, зарегистрированные в сейсмоактивной зоне Ляховичского разлома и в Солигорском горнопромышленном регионе, следует отнести к индуцированной сейсмичности. Она возникает в основном в слабосейсмичных регионах в результате внешнего воздействия, которое либо изменяет геодинамические свойства массива, нарушая сложившееся динамическое равновесие и переводя взаимодействующие структуры в новое состояние с выделением энергии, либо вызывает перераспределение напряжений внутри массива, приводя к их концентрации в некоторой его области до критического состояния с последующим высвобождением в виде сейсмических колебаний (Аронов, 2019а).

Пространственное распределение землетрясений, приуроченных к Ляховичскому региональному разлому, показано на рис. 2. В результате выполненного построения получены координаты сейсмоактивной зоны разлома в пределах $52.738-53.037^\circ$ северной ши-

роты и $26.830-28.034^\circ$ восточной долготы. В районе 52.88° северной широты и 27.66° восточной долготы расположен узел пересечения Ляховичского регионального разлома и Стоходско-Могилевского суперрегионального разлома. В этом районе проведено разделение эпицентров землетрясений по наибольшей принадлежности к Ляховичскому разлому. Стоходско-Могилевский разлом является сейсмогенным, распределение землетрясений, приуроченных к нему, можно проследить на рис. 1.

На рис. 3 представлено пространственно-временное распределение эпицентров землетрясений в проекции на долготу за период 1983–2021 гг. Землетрясения по Ляховичскому региональному разлому распределены неоднородно в пространстве и во времени. Выделение этапов неоднородного проявления сейсмичности проводилось на основе параметров сейсмической активности и площадного расположения эпицентров землетрясений.

На I этапе (1983–1991 гг.) зарегистрировано 39 землетрясений с суммарной величиной выделившейся сейсмической энергии $\Sigma E = 0.8523 \cdot 10^9$ Дж. На протяжении этого этапа землетрясения проявлялись в основном в центральной части, площади активной зоны, однако наблюдались и в краевых частях. Пределы сейсмоактивной зоны разлома определены следующими событиями: землетрясением в западной части 24.07.1986 ($K = 8.5$, $M = 2.5$, $E = 0.3162 \cdot 10^9$ Дж) и землетрясением в восточной части 01.03.1990 ($K = 7.2$, $M = 1.8$, $E = 0.0158 \cdot 10^9$ Дж).

На II этапе (1992–1996 гг.) зарегистрировано 4 землетрясения с суммарной величиной выделившейся сейсмической энергии $\Sigma E = 0.0063 \cdot 10^9$ Дж. Этот период характеризуется невысокой сейсмичностью с проявлением в западной части и лишь одним землетрясением в восточной. Пределы сейсмоактивной зоны определялись землетрясением в западной части 18.10.1993 ($K = 5.7$, $M = 0.9$, $E = 0.0005 \cdot 10^9$ Дж) и землетрясением в восточной части 13.09.1994 ($K = 5.2$, $M = 0.7$, $E = 0.0002 \cdot 10^9$ Дж).

На III этапе (1997–2006 гг.) зарегистрировано 142 землетрясения с суммарной величиной выделившейся сейсмической энергии $\Sigma E = 2.2688 \cdot 10^9$ Дж. Сейсмическая активизация происходила в основном в центральной части разлома, лишь два события про-

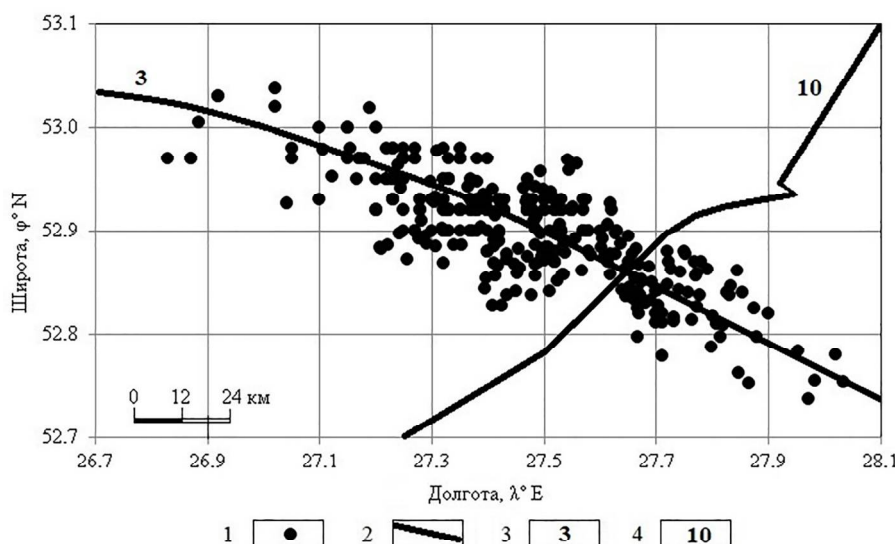


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений в пределах площади сейсмоактивной зоны Ляховичского регионального разлома за период 1983–2021 гг.: 1 — эпицентры землетрясений, 2 — линия расположения разлома, 3 — Ляховичский разлом, 4 — Стоходско-Могилевский разлом

Fig. 2. Map of earthquake epicenters within the seismically active zone area of the Lyakhovichi regional fault in 1983–2021: 1 — earthquake epicenter, 2 — fault line, 3 — Lyakhovichi fault, 4 — Stokhod-Mogilev fault

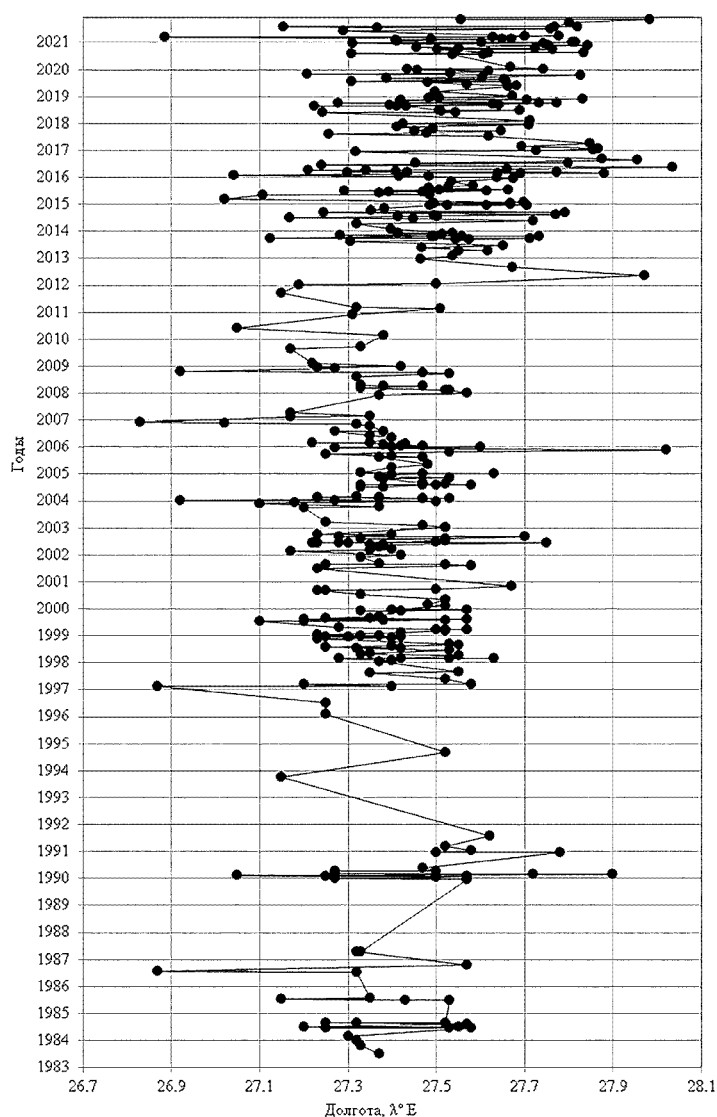


Рис. 3. Пространственно-временная развертка эпицентров землетрясений в пределах площади сейсмоактивной зоны Ляховичского регионального разлома в 1983–2021 гг.

Fig. 3. Space and time development of the earthquake epicenters within the seismically active zone area of the Lyakhovich regional fault in 1983–2021

изошли в краевых частях. Пределы сейсмоактивной зоны: землетрясение в западной части зоны произошло 30.12.2006 ($K = 7.5$, $M = 1.9$, $E = 0.0316 \cdot 10^9$ Дж) и землетрясение в восточной части — 06.12.2005 ($K = 7.5$, $M = 1.9$, $E = 0.0316 \cdot 10^9$ Дж).

На IV этапе (2007–2011 гг.) зарегистрировано 27 землетрясений с суммарной величиной выделившейся сейсмической энергии $\Sigma E = 0.1022 \cdot 10^9$ Дж. На этом этапе землетрясения в основном проявляются в западной части активной зоны разлома. Пределы сейсмоактивной части разлома: землетрясение в западной части 08.11.2008 ($K = 6.9$, $M = 1.6$, $E = 0.0079 \cdot 10^9$ Дж) и в восточной части 22.01.2008 ($K = 5.5$, $M = 0.8$, $E = 0.0003 \cdot 10^9$ Дж).

На V этапе (2012–2021 гг.) зарегистрировано 169 землетрясений с суммарной величиной выделившейся сейсмической энергии $\Sigma E = 4.5929 \cdot 10^9$ Дж. Этот период отличается от предыдущего проявлением сейсмичности в основном в восточной части зоны. Однако в 2021 г. наблюдалась активность по всей зоне разлома, это свидетельствует о разрядке накопившихся тектонических напряжений. Пределы сейсмоактивной части зоны определялись следующими событиями: в восточной части землетрясение произошло 20.06.2016 ($K = 7.9$, $M = 2.1$, $E = 0.0724 \cdot 10^9$ Дж)

и в западной части — 15.04.2021 ($K = 7.2$, $M = 1.8$, $E = 0.0162 \cdot 10^9$ Дж).

Из вышеизложенного следует, что в Ляховичском региональном разломе наиболее активным по количеству землетрясений (169) и максимальной величине выделившейся суммарной сейсмической энергии ($\Sigma E = 4.5929 \cdot 10^9$ Дж) был V период (2012–2021 гг.). Возможно, на увеличение числа землетрясений повлиял факт модернизации оборудования и расширение сети наблюдений до восьми сейсмических станций в регионе. Выполненные исследования показали, что количество землетрясений не является основным фактом при определении уровня сейсмотектонического потенциала активной зоны разлома, этот уровень зависит и от величины выделившейся сейсмической энергии в данной зоне.

Долговременный график распределения числа землетрясений и суммарной выделившейся сейсмической энергии по годам в активной зоне Ляховичского регионального разлома за период 1983–2021 гг. представлен на рис. 4.

Анализ долговременного проявления сейсмического процесса показал, что повышенные значения суммарной выделившейся сейсмической энергии наблюдались в 1999, 2018 и 2021 гг. Повышенное число произошедших сейсмических событий отмечено в 1999, 2002, 2015 и 2021 гг.

Сейсмотектонические деформации той или иной области разлома определялись совокупностью смещений и рассматривались в качестве составной части общих тектонических деформаций (Аронов, 2018). Тип сейсмодислокаций по разломам основывался на типах смещений и соответствующих им стереограммах фокальных механизмов очагов землетрясений (Введенская, 1969).

Механизм очага устанавливался единым для группы землетрясений (групповой механизм). Так поступают для землетрясений с магнитудами обычно $M < 4$, чтобы вовлечь и их в обработку (Ризниченко, 1985). Этот прием основан на допущении, что в ограниченных объемах земной коры процессы в очагах могут быть приблизительно одинаковыми. В этом случае землетрясения объединяются в группы. Очаги каждой группы при расчетах условно приписываются одной точке в центре эпицентральной области и наблюдаемые для них знаки смещений наносятся на одну и ту

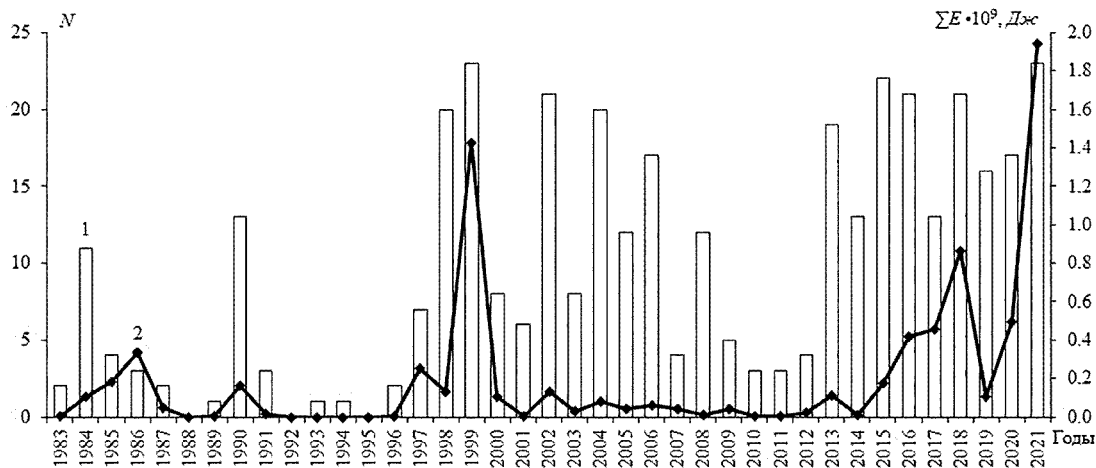


Рис. 4. График изменения числа землетрясений (1) и величины их суммарной сейсмической энергии (2) в пределах площади сейсмоактивной зоны Ляховичского регионального разлома за 1983–2021 гг.

Fig. 4. Graph showing the changes of the earthquake number (1) and of their total seismic energy value (2) within the seismically active zone area of the Lyakhovich regional fault in 1983–2021

Таблица 1. Основные параметры фокального группового механизма для Ляховичского регионального разлома
Table 1. Main parameters of the focal group mechanism for the Lyakhovich regional fault

Оси главных напряжений The axes of the main stresses						Нодальные плоскости Nodal planes						Сейсмодислокация Seismic dislocation
<i>T</i>		<i>P</i>		<i>N</i>		<i>NP1</i>			<i>NP2</i>			
<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>STK</i>	<i>DP</i>	<i>SLIP</i>	<i>STK</i>	<i>DP</i>	<i>SLIP</i>	
5	244	85	78	1	335	333	40	−92	155	50	−89	сброс / fault

же стереографическую проекцию. Если данные наблюдений для группы, составленной из землетрясений с близко расположенными эпицентрами, удовлетворяют одной и той же системе нодальных линий, то найденный механизм очага приписывается всем этим землетрясениям.

Для определения типа сейсмодислокации полученного группового фокального механизма очага землетрясения использовалась система классификации ориентировок, предложенная в работе (Frohlich, 1992), где все возможные типы смещений в очагах формально разделены на шесть групп. Каждый тип (группа) однозначно определяется величинами углов между вертикалью и осями сжатия (P) и растяжения (T).

Фокальный групповой механизм для Ляховичского регионального разлома построен по знакам первых вступлений 381 землетрясения. В табл. 1 показаны основные параметры фокального группового механизма для Ляховичского регионального разлома.

В результате выполненных построений получено значение сейсмодислокации, которое соответствует такому кинематическому типу, как сброс. Можно предположить, что землетрясения возникли под действием растягивающих напряжений, ориентированных в направлении северо-восток (юго-запад). Обе нодальные плоскости имеют северо-западное — юго-восточное простирание и залегают под углами падения к горизонту $DP = 40–50^\circ$. Тип движения по обеим нодальным плоскостям — сброс.

Припятский прогиб — это структура, которая формировалась в условиях тангенциального растяжения,

и некоторые региональные разломы в осадочном чехле являются нормальными сбросами. На западе Ляховичского регионального разлома амплитуды сбросов составляют 0.5–1.6 км, в центральной части — 1.0–2.0 км и в восточной — 0.5–1.5 км (Айзберг и др., 2007; Махнач и др., 2001).

Заключение

Выполненные исследования позволили определить сеймотектонический 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, приуроченные к Ляховичскому региональному разлому, находятся в пределах $52.738–53.037^\circ$ северной широты и $26.830–28.034^\circ$ восточной долготы. Вся зона разлома является сейсмоактивной, землетрясения проявляются как в центральной, так и в восточной и западной частях. Сейсмическая активизация в разломе проявляется периодически. Для Ляховичского регионального разлома наиболее активным по количеству землетрясений (169) и наибольшей величине выделившейся суммарной сейсмической энергии ($4.5929 \cdot 10^9$ Дж) был период 2012–2021 гг. Наиболее сильное землетрясение, приуроченное к этому разлому, зарегистрировано 03.09.2021 в восточной части с параметрами: $K = 9.2$, $M = 2.9$, $E = 1.4454 \cdot 10^9$ Дж. Сейсмодислокации по разлому — сбросы.

Литература / References

- Айзберг Р. Е., Гарецкий Р. Г., Карабанов А. К. и др. Разломы земной коры Беларуси. Минск: Красико-Принт, 2007. 372 с.
- Aizberg R. E., Garetsky R. G., Karabanov A. K. et al. Fractures of the Earth's crust of Belarus. Minsk: Krasiko-Print Publ., 2007. 372 p. (in Russian)
- Аронов Г. А. Динамика миграции зон группирования эпицентров землетрясений в северо-западной части Припятского прогиба // Анализ, прогноз и управление природными рисками с учетом глобального изменения климата — ГЕОРИСК-2018: Материалы X Междунар. науч.-практ. конф. М.: РУДН, 2018. Т. 1. С. 262—267.
- Aronov G. A. Dynamics of migration of the earthquake epicenter grouping areas in the north-western part of the Pripyat trough // Analysis, forecasting and management of natural risks with the consideration of the global climate change — GEORISK-2018: Materials of the X International Scientific and Practical Conference. Moscow: RUDN University Publ., 2018, vol. 1. pp. 262—267. (in Russian)
- Аронов Г. А. Неотектоника и геодинамика Припятского прогиба // Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики: Материалы LII Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2020а. С. 17—20.
- Aronov G. A. Neotectonics and geodynamics of the Pripyat trough. Fundamental Problems of Tectonics and Geodynamics: Proc. of the 52nd Tectonic Meeting. Moscow: GEOS Publ., 2020a, pp. 17—20. (in Russian)
- Аронов Г. А. Особенности пространственно-временной сейсмической активности в Солигорском горнопромышленном регионе // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. 2019а. Т. 63, № 2. С. 216—222. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-2-216-222>
- Aronov G. A. Some peculiarities of the space — time distribution of the seismic activity within the Soligorsk mining region. Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus, 2019a, V. 63, No. 2, pp. 216—222. (in Russian)
- Аронов Г. А. Сейсмотектонические исследования в районе Старобинского месторождения калийных солей // Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов: Материалы I Межд. науч.-практ. конф. Воронеж: Истоки, 2020b. С. 106—110.
- Aronov G. A. Seismotectonic investigations in the area of the Starobin potash salt deposit. Patterns of Transformation of the Geosphere Ecological Functions in Large Mining Regions: Materials of the I International Scientific and Practical Conf. Voronezh, Istoki Publ., 2020b, pp. 106—110. (in Russian)
- Аронов Г. А. Тектонические разрывные нарушения и сейсмическая активность в районе Старобинского месторождения калийных солей // Проблемы тектоники континентов и океанов: Материалы LI Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2019b. С. 22—26.
- Aronov G. A. Tectonic rupture dislocations and seismic activity in the area of the Starobinsky potash salt deposit. Problems of Tectonics of the Continents and Oceans: Proc. of the LI Tectonic Meeting. Moscow: GEOS Publ., 2019b, pp. 22—26. (in Russian)
- Введенская А. В. Исследование напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций. М.: Наука, 1969. 135 с.
- Vvedenskaya A. V. Investigation of the stresses and ruptures in the earthquake foci using the dislocation theory. Moscow: Nauka, 1969, 135 p. (in Russian)
- Высоцкий Э. А., Губин В. Н., Смычник А. Д., Шемет С. Ф., Яшин И. А. Месторождения калийных солей Беларуси: геология и рациональное недропользование. Минск: БГУ, 2003. 264 с.
- 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: BU Publ., 2003, 264 p. (in Russian)
- Махнач А. С., Гарецкий Р. Г., Матвеев А. В. и др. Геология Беларуси. Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси, 2001. 815 с.
- 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)
- Ризниченко Ю. В. Проблемы сейсмологии. Избранные труды. М., 1985. 408 с.
- Riznichenko Yu. V. Problems of seismology. Selected works. Moscow, 1985, 408 p. (in Russian)
- Frohlich C. Triangle diagrams: Ternary graphs to display similarity and diversity of earthquake focal mechanisms // Physics of the Earth and Planetary interiors, 1992, 75 (1—3), 193—198. Doi: 10.1016/0031-9201(92)90130-N
- Поступила в редакцию / Received 14.06.2024