

Член-корреспондент НАН Украины **А. В. Кендзера,**
А. А. Трипольский, П. И. Пигулевский, И. Ю. Гурова,
С. В. Щербина

Институт геофизики НАН Украины им. С. И. Субботина, Киев

E-mail: kenzera@igph.kiev.ua

Современная сейсмическая активизация Днепровско-Донецкого палеорифта

Проанализированы причинно-следственные связи сейсмичности территории Днепровско-Донецкого палеорифта. Отмечено наличие геолого-геофизических неоднородностей, которые рассматриваются в качестве критериев для выделения возможных сейсмогенных зон. К ним можно отнести и зону пересечения сеймотектонического линеймента Г1Г2 и Северного краевого разлома Днепровско-Донецкого палеорифта. Результаты глубинного сейсмического зондирования, проведенного вблизи этой зоны, показывают высокую вероятность возникновения местных землетрясений в ее пределах. Возможная добыча сланцевого газа и нефти может значительно увеличить сейсмичность Днепровско-Донецкого палеорифта как по частоте реализации, так и по магнитуде землетрясений. Поэтому для точной оценки сейсмичности его территории необходимо в восточной и северо-восточной частях Украины создать систему сейсмологического мониторинга из пяти-шести цифровых станций.

Ключевые слова: локальное землетрясение, сеймотектоника, сеймостанции.

За исторический отрезок времени известно несколько ощутимых землетрясений (рис. 1), произошедших на территории Днепровско-Донецкого палеорифта (ДДП), который включает Днепровско-Донецкую впадину (ДДВ) и складчатый Донбасс [1]: 31 января 1858 г. в 20 ч в районе Харькова, магнитуда землетрясения (M_{LH}) составляла 3,5, в эпицентре интенсивность сотрясений (I) составляла 5–6 баллов; 23 июля 1905 г. в 2 ч в районе Чернигова, $M_{LH} \approx 3$, в эпицентре $I = 5$ баллов; 8 августа в 1913 г. в 2 ч в окрестности Купянска, $M_{LH} = 4,5$, $h = 5$ км и $I = 5 \div 6$ баллов; 10 августа в 1937 г. вблизи с. Константиновка Донецкой обл., $M_{LH} = 3,0$, $h = 5$ км, $I = 6$ баллов; 11 мая 2004 г. вблизи с. Новодарьевка Луганской обл., $M_{LH} = 4,2$, $h = 10$ км, возможная интенсивность в эпицентре около 6 баллов; последнее — 3 февраля 2015 г. на границе Сумской и Полтавской областей.

Результаты анализа причинно-следственных связей сейсмичности территории ДДП с ее геолого-геофизическими особенностями строения позволяют прогнозировать область возможных местных землетрясений.

Сумское землетрясение произошло 3 февраля 2015 г. в 5 ч 56 мин и 31 с (время GMT) на глубине 10 км с магнитудой 4,8. Его очаг (координаты эпицентра 50,64N, 34,13E) расположен в области сочленения ДДП и Воронежского кристаллического массива вблизи одной из сейсмогенных зон (см. рис. 1). Оно может быть связано с нарушением ее устойчивости из-за активной разработки углеводородов в этой части ДДВ.

Надо отметить, что сейсмичность потенциально сейсмогенных структур юго-западного сегмента Восточно-Европейской платформы мало изучена. Это связано с отсутствием

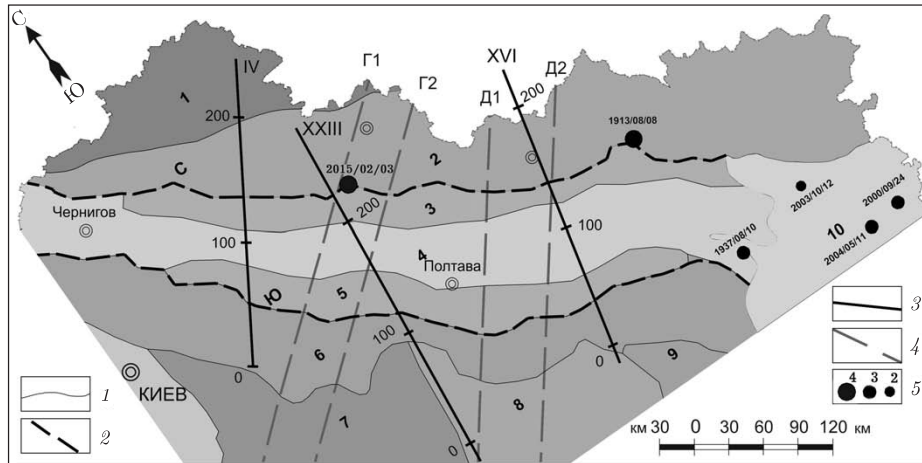


Рис. 1. Фрагмент схемы тектонического районирования Украины (по С. С. Круглову [3]). Цифрами обозначены: **1** — Воронежский массив; **2–6** — Днепровско-Донецкий палеорифт: северная бортовая зона (**2**), северная прибортовая зона (**3**), центральная зона (**4**), южная прибортовая зона (**5**), южная бортовая зона (**6**); **7–9** — мегаблоки Украинского щита: Ингульский (**7**), Среднеприднепровский (**8**), Приазовский (**9**); **10** — складчатый Донбасс. С — Северный, Ю — Южный краевые разломы. Условные обозначения: **1** — границы геоструктур; **2** — краевые разломы; **3** — профили ГСЗ; **4** — мантийные линеаменты (по В. Б. Соллогубу [4]); **5** — район землетрясения (размер кружка указывает на магнитуду события)

достаточной сети сейсмических станций, которые могли бы регистрировать слабые землетрясения. Ощутимые землетрясения происходят здесь крайне редко, их магнитуды не превышают значений $M_{LN} = 4,0$. Это не означает, что такие землетрясения с локальной интенсивностью порядка 6,0 баллов невозможны. Вся сложность задачи состоит в том, что землетрясения с магнитудами 4–5 возможны в любом месте сейсмоактивных тектонических нарушений. А наличие здесь возможной сейсмогенной зоны [2] подтверждают следующие сейсмические разрезы глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ).

В северо-восточной части профиля XVI Синельниково–Чугуев [5] на ПК 150–190 (рис. 2) прослеживается одновременное погружение к юго-западу поверхности кристаллического фундамента (амплитуда 7 км) и поверхности раздела М (амплитуда также 7 км). Кроме того, в этом районе зарегистрированы три землетрясения (период 1815–1913 гг.) [6], эпицентры которых проектируются на ПК 172. Все это, вместе взятое, повышает, на наш взгляд, вероятность возникновения новых землетрясений в окрестностях северо-восточной части профиля.

Наибольший интерес представляет разрез по профилю XXIII Решетиловка–Синевка [7] (рис. 3). Во-первых, для выделения здесь возможной сейсмогенной зоны использовано четыре соответствующих критерия. Во-вторых, вблизи северо-восточной части профиля 3 февраля 2015 г в 05 ч 56 мин (GMT) зарегистрировано землетрясение. Рассмотрим более детально геолого-геофизические характеристики литосферы, где произошло данное сейсмическое событие.

Участок профиля XXIII, на который проектируется землетрясение, имеет следующие признаки или критерии, необходимые для выделения здесь сейсмогенной зоны: 1) резкое изменение вблизи разломов толщины земной коры на 5–10 км и более; 2) наличие блока с тонкой корой; 3) пересечение северного продолжения Криворожско-Кременчугс-

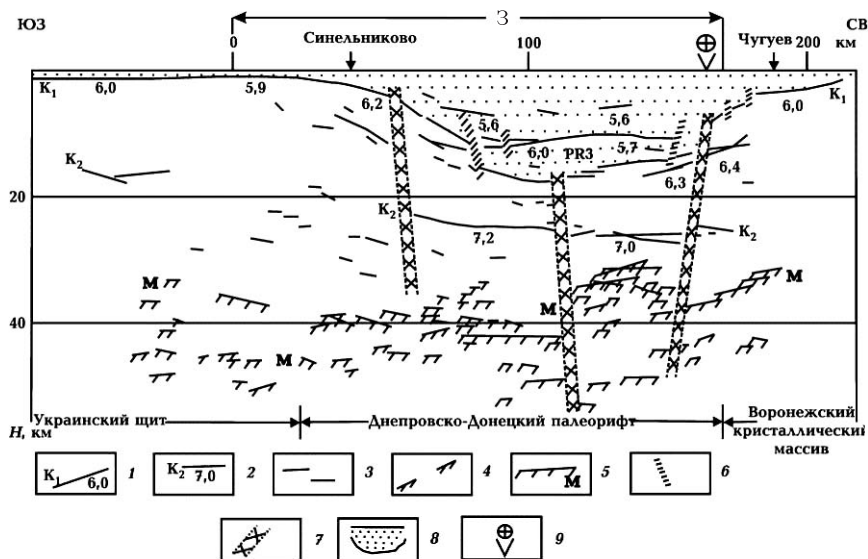


Рис. 2. Сейсмический разрез земной коры по профилю XVI Синельниково — Чугуев: 1 — поверхность докембрийского фундамента, значения граничных скоростей, км/с; 2 — отражающие горизонты в земной коре; 3 — отражающие площадки в земной коре; 4 — то же в верхней мантии; 5 — раздел М; 6 — тектонические нарушения по данным КМПВ; 7 — глубинные разломы по данным ГСЗ; 8 — осадочный чехол; 9 — эпицентр трех землетрясений в период 1815–1913 гг.; 3 — предполагаемая сейсмогенная зона

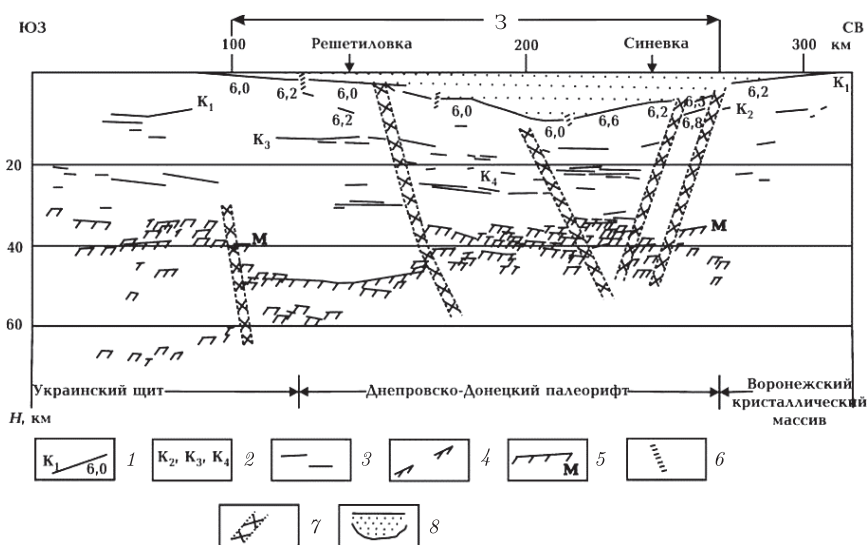


Рис. 3. Сейсмический разрез земной коры по профилю XXIII Решетилровка — Синевка. Условные обозначения см. к рис. 2

кого глубинного разлома (ККГР) и крупной мантийной разломной зоны северо-восточного простирания [4] (см. рис. 1). В пределах этой зоны изменяются по горизонтали физические свойства вещества и происходят или происходили активные мантийные процессы (без вертикальных перемещений). Необходимо подчеркнуть, что линия профиля Решетилровка–Синевка пространственно совпадает с ККГР, вблизи которого в пределах Украинского щита в последние годы зарегистрирован ряд землетрясений [8]. Подобной активностью хара-

ктеризуется также и мантийная разломная зона Г1Г2. Следовательно, район пересечения указанной зоны с ККГР предположительно может характеризоваться в будущем повышенным уровнем сейсмичности. Кроме того, очаг землетрясения находится в области сочленения северо-восточного борта палеорифта с южным склоном Воронежского кристаллического массива, где, согласно предположениям, высказанным в работе [2], уровень ожидаемой сейсмичности может быть выше по сравнению с юго-западным бортом, что подтверждает и регистрация землетрясения 3 февраля 2015 г.

Достоверность определения основных параметров землетрясений и их представительность зависят от качества первичного материала записей сейсмических событий инструментальными методами и от полноты описания эффектов разрушения для исторического периода.

Исследования по оценке областей представительности землетрясений платформенной части Украины и сопредельных регионов по данным сети сейсмических станций [9] позволяют сделать следующие выводы. Существующая сеть станций на территории ДДВ может надежно регистрировать землетрясения в ее западной части с $K_{\min} = 9$ ($M_{\min} = 2,5$) и в восточной с $K_{\min} = 10$ ($M_{\min} = 3,0$). Землетрясения с $K_{\min} = 8$ ($M_{\min} = 2,0$) и, возможно, с $K_{\min} = 9$ (в восточной части ДДВ), которые могут возникать на территории ДДП, практически не будут регистрироваться существующей сетью сейсмических станций Украины.

Такая ситуация является неудовлетворительной, так как существенно ограничивает получение сейсмологической информации даже для землетрясений с $K_{\min} = 9$ ($M_{\min} = 2,5$), поэтому для более точной и детальной оценки сейсмической опасности объектов, расположенных на территории ДДВ, необходимо создать дополнительную систему сейсмологического мониторинга из пяти–шести сейсмологических цифровых станций в восточной и северо-восточной частях Украины с обработкой результатов наблюдений в реальном масштабе времени.

Таким образом, краткий анализ геолого-геофизических особенностей строения региона, прилегающего к очагу землетрясения, произошедшего 3 февраля 2015 г., показывает, что вероятность регистрации последующих местных землетрясений может быть оценена как повышенная по сравнению с сопредельными территориями (см. рис. 1). К тому же возможная добыча сланцевого газа и нефти может значительно увеличить сейсмичность ДДП как по частоте реализации, так и по магнитуде землетрясений. Этот прогноз авторов подтверждается данными экспертов США, согласно которым сила подобных техногенных катастроф в штатах, где проводится активная разработка сланцевых месторождений, с каждым годом возрастает.

В работе приведены новые сейсмологические данные о землетрясениях с локальным сейсмическим эффектом шесть и больше баллов, произошедших в пределах ДДП. К сожалению, согласно старым Государственным нормам СНиП 2–7–81, такого уровня сейсмическая опасность не принималась во внимание при строительстве жилья и ответственных объектов. Согласно действующим Государственным строительным нормам ДБН В.1.1:12–2014 “Строительство в сейсмических районах Украины”, шестибалльные сейсмические воздействия следует учитывать. Для надежного определения количественных параметров прогнозируемых сейсмических воздействий необходимо располагать материалами инструментальных сейсмических наблюдений в широком динамическом и частотном диапазонах, зарегистрированных максимально близко от строящихся или эксплуатируемых объектов. Существующая сеть украинских сейсмических станций является недостаточно плотной для изучения реальной сейсмической опасности населенных пунктов и важных для экономики

страны объектов, расположенных на территории ДДВ. В настоящее время разрабатывается проект создания на юго-востоке страны на базе подразделений Национальной академии наук, Министерства экологии и природных ресурсов, Министерства образования и науки Украины шести сейсмических станций и Восточного центра сейсмологических данных.

Цитированная литература

1. *Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г.* / Под ред. Н. В. Кондорской, Н. В. Шебалина. – Москва: Наука, 1977. – 536 с.
2. *Трипольский А. А., Калюжная Л. Т., Трипольская В. А.* Прогнозирование возможных сейсмогенных зон в Днепровско-Донецком палеорифте // *Геофиз. журн.* – 2012. – **34**, № 1. – С. 95–104.
3. *Тектоническая карта Украины* / Гл. ред. С. С. Круглов, Д. С. Гурский. – 1 : 1 000 000. – Киев: УкрНГРИ, 2007.
4. *Сологуб В. В.* Литосфера Украины. – Киев: Наук. думка, 1986. – 184 с.
5. *Калюжная Л. Т., Коломиец Е. В., Лысыничук Д. В.* Скоростная модель строения земной коры вдоль профиля КМПВ-ГСЗ Синельниково–Чугуев // *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики.* – Київ, 2007. – С. 95–106.
6. *Никонов А. А., Белоусов Т. П., Эжман С. В.* Землетрясения юга Восточно-Европейской платформы и их структурная позиция // *Физика Земли.* – 2001. – № 5. – С. 30–44.
7. *Калюжная Л. Т.* Структура земной коры и верхней мантии центральной части Днепровско-Донецкого авлакогена (по профилю Решетиловка–Синевка) // *Докл. АН УССР. Сер. Б.* – 1978. – № 12. – С. 1063–1064.
8. *Пустовитенко Б. Г., Кульчицкий В. Е., Пустовитенко А. А.* Инструментальные и макросейсмические данные о процессах в очаговой зоне Криворожского землетрясения 25 декабря 2007 г. // *Геофиз. журн.* – 2010. – **32**, № 2. – С. 75–97.
9. *Пустовитенко Б. Г., Сафронов О. Н., Кульчицкий В. Е., Бушмакина Г. Н.* Дополнительные исследования сейсмических и сеймотектонических условий площадки Запорожской АЭС. Создание геодинамического полигона: Региональные сеймотектонические и сейсмологические исследования района работ: (Промежуточ. отчет. I этап) / Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины. – Киев, 2012. – 149 с.

References

1. *New Catalogue of strong earthquakes on the territory of the USSR from ancient times up to 1975*, Eds. N. V. Kondorskaya, N. V. Shebalin, Moscow: Nauka, 1977 (in Russian).
2. *Tripolski A. A., Kaljuzhnaja L. T., Tripolski V. A.* *Geofiz. Zhurn.*, 2012, **34**, No 1: 95–104 (in Russian).
3. *Tectonic map of Ukraine*, 1: 1 000 000, Ch. eds. S. S. Kruglov, D. S. Gursky, Kiev: UkrNGRI, 2007 (in Russian).
4. *Sologub V. B.* *Lithosphere of Ukraine*, Kiev: Nauk. dumka, 1986 (in Russian).
5. *Kaljuzhnaja L. T., Kolomiets E. V., Lysynchuk D. V.* The velocity model of the crustal structure along the profile of refraction-NHS Sinelnikogvo–Chuguyiv, *Theoretical and applied aspects of geoinformatics*, Kiev, 2007: 95–106 (in Russian).
6. *Nikonov A. A., Belousov T. P., Ekman S. V.* *Fizika Zemli*, 2001, No 5: 30–44 (in Russian).
7. *Kaljuzhnaja L. T.* *Dokl. AN USSR. Ser. B*, 1978, No 12: 1063–1064 (in Russian).
8. *Pustovitenko B. G., Kulchytsky V. E., Pustovitenko A. A.* *Geofiz. Zhurn.*, 2010, **32**, No 2: 75–97 (in Russian).
9. *Pustovitenko B. G., Safronov O. N., Kulchytsky V. E., Bushmakina G. N.* Additional studies of seismic and seismotectonic conditions of the site of Zaporizhzhya NPP. Creating geodynamic proving ground. Regional seismotectonic and seismic studies of the work area, Interim Report. Stage 1, Kiev, S. I. Subbotin the Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, 2012 (in Russian).

Поступило в редакцию 03.08.2015

Член-кореспондент НАН України **О. В. Кеңдзера, А. А. Трипільський, П. І. Пигулевський, І. Ю. Гурова, С. В. Щербіна**

Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, Київ

E-mail: kendzera@igph.kiev.ua

Сучасна сейсмічна активізація Дніпровсько-Донецького палеорифту

Проаналізовано причинно-наслідкові зв'язки сейсмічності території Дніпровсько-Донецького палеорифту. Відзначено наявність геолого-геофізичних неоднорідностей, які розглядаються як критерії для виокремлення можливих сейсмогенних зон. До них можна віднести і зону перетину сейсмотектонічного лінеамента Г1Г2 та Північного крайового розлому Дніпровсько-Донецького палеорифту. Результати глибинного сейсмічного зондування, проведеного поблизу цієї зони, показують високу ймовірність виникнення місцевих землетрусів в її межах. Можливий видобуток сланцевого газу і нафти може значно збільшити сейсмічність Дніпровсько-Донецького палеорифту як за частотою реалізації, так і за магнітудою землетрусів. Тому для точної оцінки сейсмічності його території потрібно в східній і північно-східній частинах України створити систему сейсмологічного моніторингу з п'яти-шести цифрових станцій.

Ключові слова: локальний землетрус, сейсмотектоніка, сейсмостанції.

Corresponding Member of the NAS of Ukraine **O. V. Kendzera, A. A. Tripolski, P. I. Pigulevsky, I. Y. Gurova, S. V. Shcherbina**

S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, Kiev

E-mail: kendzera@igph.kiev.ua

Modern seismic activity of the Dnieper-Donets paleorift

The causal relationships of the Dnieper-Donets paleorift seismicity are analyzed. The existences of geological and geophysical discontinuities, which are considered as criteria for the selection of possible seismic actively zones, are noted. These include the areas of the intersections, seismic-tectonical G1G2 lineament, and the Northern fault border of Dnieper-Donets paleorift. The results of deep seismic soundings conducted near this area show a high probability of the appearance of local earthquakes within it. A possible extraction of shale gas and oil can significantly increase the seismicity of Dnieper-Donets paleorift, growth of the magnitude of earthquakes, and the frequency of their realization. To exactly estimate the seismicity of its territory, it is necessary to create a system of seismic monitoring (5–6 digital stations) in the east and north-east areas of Ukraine.

Keywords: local earthquake, seismotectonics, seismic stations.