

рализации. Таким образом, на территории исследуемого участка оптимальным будет подземное сжигание угольного пласта h_{10}^1 с использованием в качестве теплоносителей подземных вод песчаников $h_{10}Sh_{11}$.

Список литературы

1. Marcouiller B.A. Overburden characterization and post-burn study of the Hanna 4, underground coal gasification site, Wyoming, and comparison to other Wyoming UGG sites / B.A. Marcouiller, L.K. Burns, F.G. Ethridge. – 1984. – 277 p.
2. Садовенко И.А. Численное исследование особенностей теплового поля вокруг подземного газогенератора / И.А. Садовенко, Д.В. Рудаков, А.В. Инкин // Збірник наукових праць НГУ. – 2012. – № 39 – С. 11 – 20.
3. Shimada S. Cost estimation of underground coal gasification in Japan / S. Shimada, K. Ohga, A. Tamari // Mineral Resources Engineering. – 1996. – Vol. 5 – P. 241 – 252.
4. Нагорный Ю.Н. Прогноз степени нарушенности пластов мелкоамплитудными разрывами на глубоких горизонтах / Ю.Н. Нагорный, А.З. Широков, В.Н. Нагорный // Уголь Украины. – 1984. – № 4 – С.36 – 37.
5. Приходченко В.Ф. Малоамплітудна розривна порушеність вугленосної формації Донбасу / Приходченко В.Ф. – Дніпропетровськ: РВК НГА України, 2002. – 204 с.
6. Курмелев И.И. Оценка и прогнозирование содержаний токсичных элементов в системе уголь – горная масса – продукты обогащения (на примере Чистяково-Снежнянского геолого-промышленного района): дис. на соиск. уч. степ. канд. геол. наук: спец. 04.00.16. «Геология твердых горючих ископаемых» / Курмелев Игорь Иванович; Нац. горн. акад. Украины. – Днепропетровск, 1999. – 127 с.

*Рекомендовано до публікації: д.геол.н. Барановим П.М.
Надійшла до редакції 17.10.2014*

УДК 550.834

© П.И. Пигулевский, А.А. Трипольский

О ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИНАХ СУМСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 03 ФЕВРАЛЯ 2015 ГОДА

Проанализированы причинно-следственные связи сейсмичности территории Днепроовско-Донецкого палеорифта (ДДП). Отмечены геолого-геофизические неоднородности, которые рассматриваются в качестве критериев для выделения возможных сейсмогенных зон. Анализ результатов глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) показывают высокую вероятность в будущем местных землетрясений в его пределах. А планируемая государством добыча сланцевого газа и нефти может значительно увеличить сейсмичность ДДП как по частоте реализации, так и по магнитуде землетрясений.

Проаналізовані причинно-наслідкові зв'язки сейсмічності території Дніпровсько-Донецького палеорифту (ДДП). Відзначені геолого-геофізичні неоднорідності, які розглядаються в якості критеріїв для виділення можливих сейсмогенних зон. Аналіз результатів глибинного сейсмічного зондування (ГСЗ) свідчить про високу ймовірність у майбутньому місцевих землетрусів в його межах. А запланований державою видобуток сланцевого газу і

нафти може значно збільшити сейсмічність ДДП як за частотою реалізації, так і за магнітудою землетрусів.

The causal relationships of the Dnieper-Donetsk paleo rift (DDP) seismicity are analyzed. The existences of geological and geophysical discontinuities, which are considered as criteria for the selection of possible seismic actively zones, are noting. The results of conducted near this area deep seismic sounding show a high probability of future registration of local earthquakes within it. A state-planned production of shale gas and oil can significantly increase the seismicity of Dnieper-Donetsk paleo rift, growth of the magnitude of earthquakes and theirs realization frequency.

Введение. Сумское землетрясение произошло в 05 часов 56 минут 31 секунду (время GMT) 03 февраля 2015 г. на глубине 10 километров с магнитудой 4.8. По своей природе является классическим сейсмическим событием. Его очаг (координаты эпицентра 50.64N, 34.13E) расположен в области сочленения Днепровско-Донецкого палеорифта (ДДП) и Воронежского кристаллического массива (ВКМ) вблизи одной из сейсмогенных зон (рис. 1), выделенных в работе [1] и, непосредственно, в зоне пересечения сеймотектонического линеамента Г1Г2 [2] и Северного краевого разлома ДДП (рис 1). Землетрясения являются одним из главнейших индикаторов геодинамических процессов и современной тектонической активности геологических разрывных структур, которые могут представлять опасность путем разрушений или повреждений техногенно-опасных объектов и жилищ людей. Результаты анализа сеймотектонической ситуации, которые проясняют роль конкретных локальных структур в формировании тектонического землетрясения на платформенной части Украины приведены в работе [3]. Сейсмичность местных, потенциально сейсмогенных, структур юго-западной части Восточно-Европейской платформы (ВВП) изучена очень слабо. Это связано с отсутствием плотной сети сейсмических станций, которые могли бы регистрировать слабые землетрясения. Ощутимые землетрясения происходили здесь крайне редко, их магнитуды не превышали значений $M_{LH} = 5.0$ [4].

Цель статьи. Основной целью данной работы является выделение возможных сеймотектонических зон, представляющих потенциальную сейсмическую опасность для размещенных в пределах ДДП особо важных потенциально опасных объектов.

В результате анализа причинно-следственных связей сейсмичности территории палеорифта с ее геолого-геофизическими характеристиками авторами сделана попытка прогноза местоположения возможных в будущем местных землетрясений. Предполагается, что повышенный уровень сейсмичности может быть пространственно приурочен к областям неоднородного строения земной коры и верхней мантии. Наличие таких областей рассматривается в качестве одного из критериев для выделения возможных сейсмогенных зон.

Структурно-тектоническая позиция. Землетрясение 3 февраля 2015 г. произошло в зоне Северного краевого разлома (рис. 1), который согласно [5] отделяет Северную бортовую зону от зоны Днепровского грабена Днепровско-Донецкой (палеорифта) впадины (ДДВ).

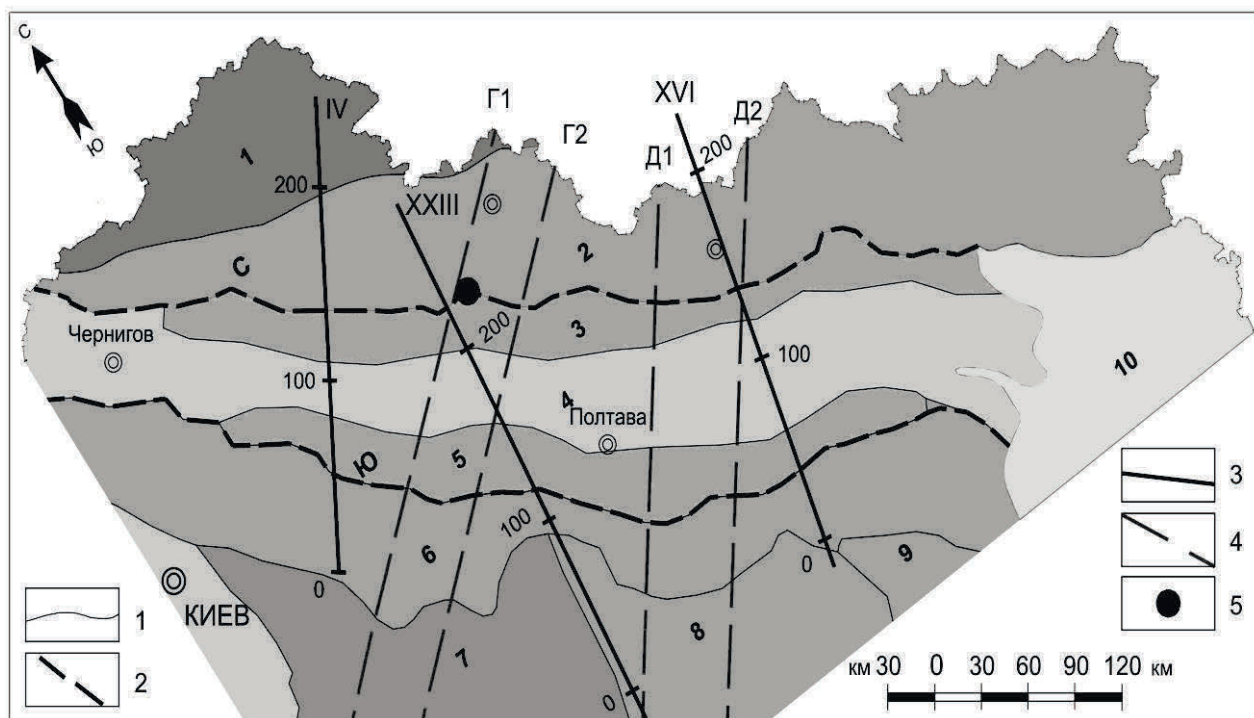


Рис. 1. Фрагмент схемы тектонического районирования Украины (по С.С. Круглову [5]): 1 – Воронежский массив; Днепровско-Донецкая впадина (палеорифт) – (2-6): 2 – Северная бортовая зона; 3 – Северная прибортовая зона; 4 – Центральная зона; 5 – Южная прибортовая зона; 6 – Южная бортовая зона; 7 – Ингульский; 8 – Среднеприднепровский и 9 – Приазовский мегаблоки Украинского щита; 10 – Складчатый Донбасс. С – Северный и Ю – Южный краевые разломы. Условные обозначения: 1 – границы геоструктур; 2 – краевые разломы; 3 – профили ГСЗ; 4 – мантийные линеаменты (по Соллогубу, 1986); 5 – землетрясение 03 февраля 2015 года

В целом ДДВ представляет собой наложенный осадочный бассейн, который заполняет глубоко погруженную часть консолидированного архейско-палеопротерозойского кристаллического фундамента [5]. Она входит в состав западного сегмента Сарматско-Туранского линеамента. Последний в пределах ВЕП отсекает Украинский щит (УЩ) от Русской плиты. Изученная часть осадочной толщи (от среднедевонских до четвертичных отложений) по мощности возрастает с запада на восток от 0,5 км в районе Брагинско-Лоевского выступа на границе с Припятским прогибом до 18-19 км на границе с Донецким складчатым сооружением. Аналогичное быстрое увеличение мощности осадочных образований происходит со склонов УЩ и Воронежской антеклизы в сторону осевой части впадины. Многоэтапное формирование впадины связано с изменениями тектонических режимов, которые вместе с активным галокинезом обусловили ее сложную многоэтажную структуру.

ДДВ состоит из следующих структур первого порядка: Днепровского грабена и симметрично расположенных вдоль него северного и южного бортов (рис. 1). Эти тектонические элементы разграничены так называемыми краевы-

ми разломами. В большинстве случаев они, по сути, являются системами узких ступенчатых блоков, которые по серии высокоамплитудных сбросов быстро погружаются в сторону осевой части впадины. Не исключена возможность наличия среди них взбросов времен ларамийской и, менее вероятно, заальской фаз складчатости. На тектонической карте Украины [5] краевые разломы трассируются по первому прямому сбросу со стороны бортов, который в большей части имеет большую амплитуду.

Северный борт впадины изучен значительно хуже, чем грабен, за исключением его юго-восточной части. Он характеризуется медленным нарастанием толщи осадочного чехла в сторону грабена. Углы наклона кристаллического фундамента увеличиваются в том же направлении от десятых градуса до $2 - 3^\circ$, а вблизи краевых разломов местами достигают $6-7^\circ$. Фундамент северного борта на отдельных участках вблизи Краевого разлома располагается на отметках ниже 5 км. В его наиболее изученной части закартирована плотная сеть прямых и обратных сбросов различной амплитуды, которые с краевым разломом близки по простиранию.

В пределах **северной прибортовой зоны** грабена по простиранию выделяются три подзоны: сложных дислокаций, моноклиальная и переходная. Первая из них начинается с восточных склонов Брусиловского выступа фундамента и заканчивается Валковской соляной структурой включительно. Дальше на востоке находится моноклиальная подзона, которая разделена переходной подзоной на две отдельные части: западную Змеевскую и восточную Сватовскую моноклинали. Переходная подзона наследует частично черты моноклиальной и сложных дислокаций. На ее территории проявляется активный галокинез и закартированы небольшие по размерам замкнутые поднятия, которые могут группироваться в короткие гряды. Северная прибортовая зона является продолжением северной зоны мелкой складчатости и переходной зоны Донецкого складчатого сооружения (по В.С. Попову).

В заключение характеристики тектоники ДДВ необходимо подчеркнуть, что она сама и ее тектонические элементы разных порядков формировались благодаря действию как вертикальных, так и горизонтальных движений, среди которых главенствующее место отводится первым. Наиболее наглядно проявления горизонтальных подвижек зафиксированы в юго-восточной части впадины.

Результаты глубинного сейсмического зондирования. Наличие в районе Сумского землетрясения возможной сейсмогенной зоны подтверждают следующие сейсмические разрезы ГСЗ [1].

1. На разрезе по профилю IV Пирятин-Талалаевка (Ильченко, 1997) в толще консолидированной коры выделена очень контрастная скоростная неоднородность (рис.2). Ее размеры равны 40 км по горизонтали и 25-30 км по глубине. Вдоль разреза положительные перепады скорости по отношению к прилегающим участкам достигают значений $+0.6 - +1.0$ км/сек. Принимая во внимание, что консолидированная кора, в целом, характеризуется преимущественно небольшими изменениями скоростей по горизонтали (как правило, не более 0.2 км/с), следует отметить, что подобная скоростная неоднородность представляет

собой контрастную аномалию. К тому же, в пределах данной неоднородности земная кора характеризуется уменьшенной мощностью (38 км) по сравнению со смежными участками разреза (47-48 км) (рис.2). В районе юго-западной границы неоднородности в 1905 г. зарегистрировано землетрясение [4].

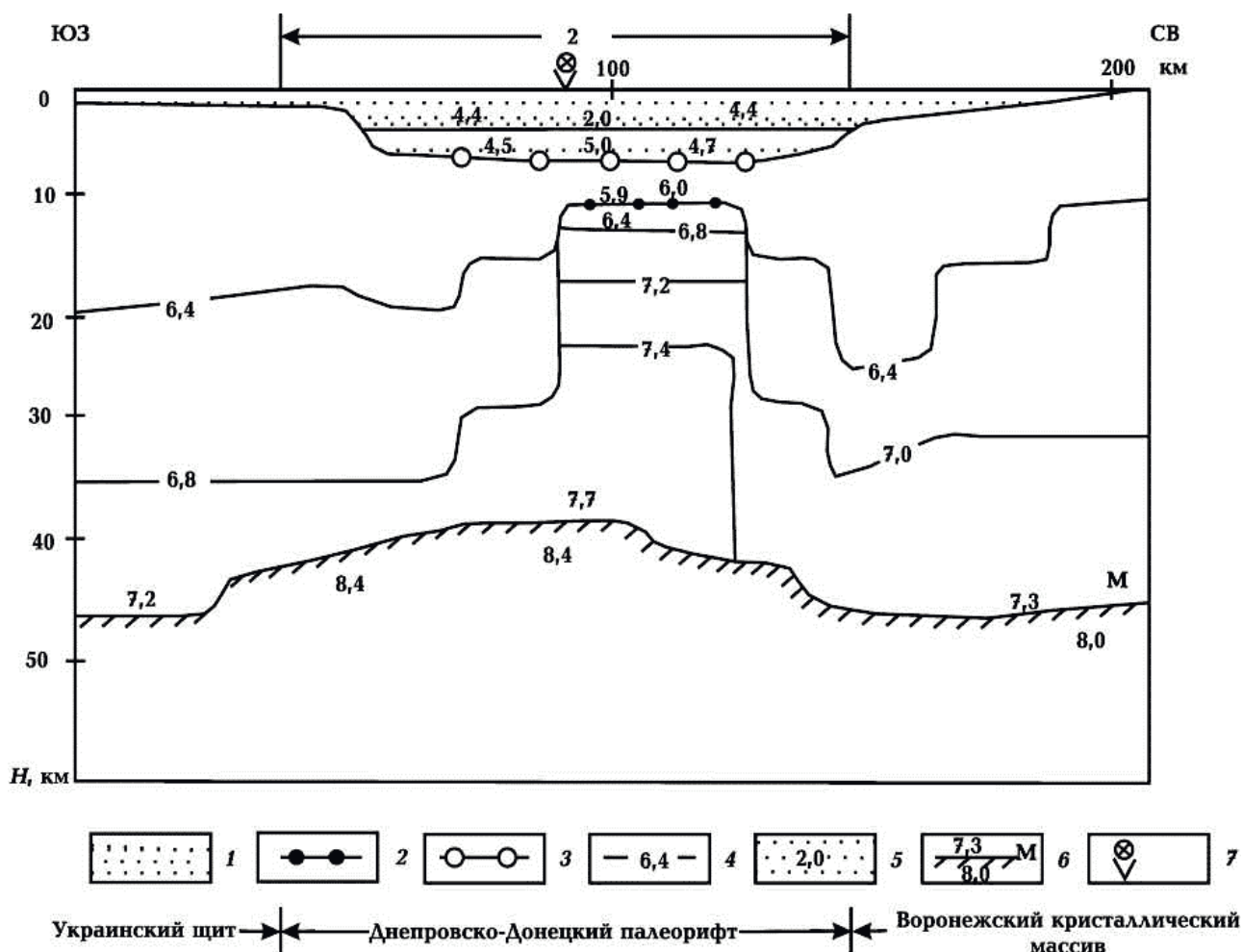


Рис. 2. Сейсмический разрез земной коры по профилю IV Пирятин – Талалаевка: 1 – осадочный чехол; 2 – архейско-раннепротерозойский фундамент; 3 – позднепротерозойский фундамент; 4 – изолинии скорости, км/с; 5 – скорости в осадочном чехле, км/с; 6 – раздел М; 7 – эпицентр землетрясения 1905 г. Цифры на разрезе: 7,2; 7,3; 7,7 – скорости в низах земной коры, км/с; 8,0, 8,4 – граничные скорости, км/с; 2 – предполагаемая сейсмогенная зона

2. В северо-восточной части профиля XVI Синельниково-Чугуев [Калужная и др., 2007] на ПК 150-190 (рис.3) 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.) [4], эпицентры которых проектируются на ПК 172. Все это, вместе взятое, повышает, на наш взгляд, вероятность регистрации новых землетрясений в окрестностях северо-восточной части профиля.

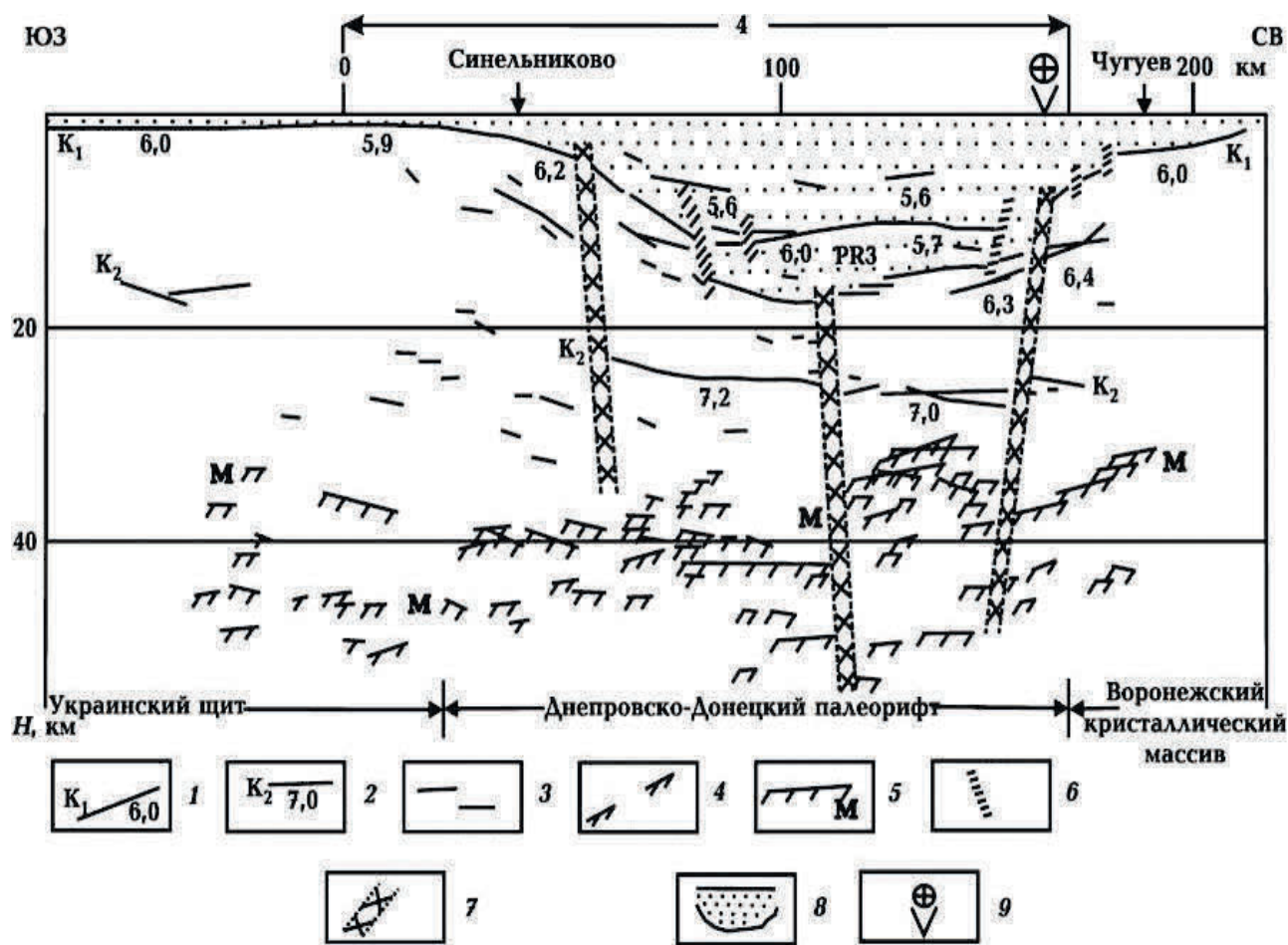


Рис. 3. Сейсмический разрез земной коры по профилю XVI Синельниково – Чугуев: 9 – эпицентр трех землетрясений в период 1815-1913 гг.; 4 – предполагаемая сейсмогенная зона. Остальные условные обозначения на рис. 4

3. Наибольший интерес представляет разрез по профилю XXIII Решетилловка-Синевка (Калужная, 1978) (рис.4). Во-первых, для выделения здесь возможной сейсмогенной зоны использовано четыре соответствующих критерия. Во-вторых, в окрестностях северо-восточной части профиля зарегистрировано Сумское землетрясение. Рассмотрим более детально геолого-геофизические характеристики литосферы области, в пределах которой произошло это сейсмическое событие.

Участок профиля XXIII, на который проектируется Сумское землетрясение, имеет следующие признаки или критерии, необходимые для выделения здесь сейсмогенной зоны: 1) резкое изменение вблизи Северного краевого разлома толщины земной коры на 5-10 км и более; 2) наличие блока с тонкой корой; 3) пересечение северного продолжения Криворожско-Кременчугского глубинного разлома (ККГР) и крупной мантийной разломной зоны северо-восточного простирания [5] (рис.1). В пределах этой зоны изменяются по горизонтали физические свойства вещества и происходят или происходили активные мантийные процессы (без вертикальных перемещений).

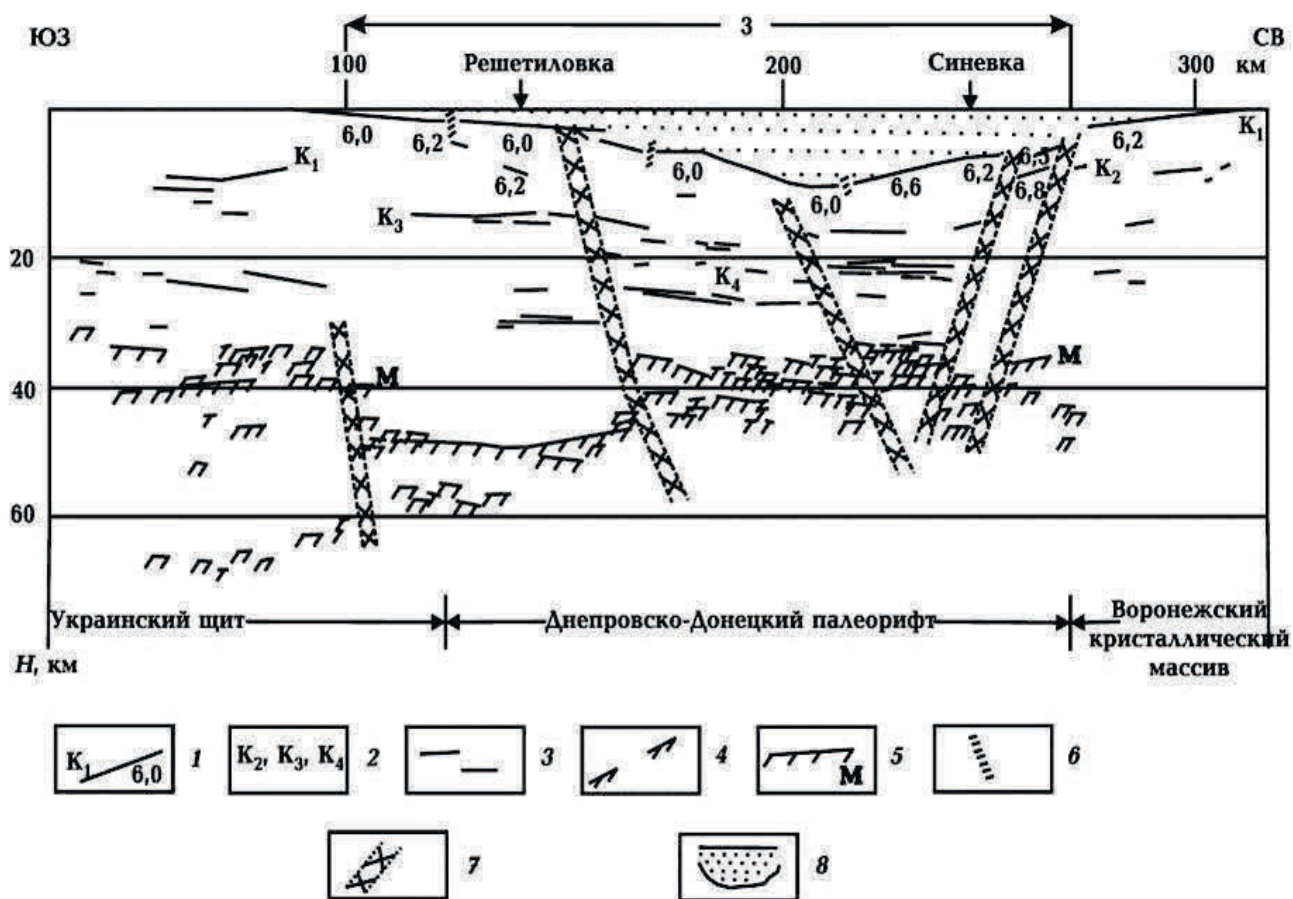


Рис. 4. Сейсмический разрез земной коры по профилю XXIII Решетилровка – Синевка: 1 – поверхность докембрийского фундамента, значения граничных скоростей, км/с; 2 – отражающие горизонты в толще кристаллической земной коры; 3 – отражающие площадки в земной коре; 4 – то же в верхней мантии; 5 – раздел М; 6 – тектонические нарушения по данным КМПВ; 7 – глубинные разломы по данным ГСЗ; 8 – осадочный чехол; 3 – предполагаемая сейсмогенная зона

Необходимо подчеркнуть, что линия профиля Решетилровка-Синевка пространственно совпадает с ККГР, вблизи которого в пределах Украинского щита в последние годы зарегистрирован ряд землетрясений [3]. Подобной активностью характеризуется также и мантийная разломная зона $\Gamma^1\Gamma^1$. 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 [1], уровень ожидаемой сейсмичности может быть выше по сравнению с юго-западным бортом.

С учетом регистрации Сумского землетрясения, которое произошло 03 февраля 2015 в 05:56 (по Гринвичу), предположение о возможном повышенном уровне сейсмичности в этом районе оказалось обоснованным, что, несомненно, повышает в будущем степень доверия к подобным прогнозам.

Выводы. Краткий анализ геолого-геофизических характеристик региона, прилегающего к очагу Сумского землетрясения 03 февраля 2015, показывает, что вероятность регистрации последующих местных землетрясений может быть оценена как повышенная по сравнению с сопредельными территориями (рис.1). К тому же, планируемая добыча сланцевого газа и нефти в будущем может значительно увеличить сейсмичность ДДП как по частоте реализации, так и по магнитуде землетрясений.

Этот прогноз авторов может подтвердиться, так как эксперты США прогнозируют, что сила подобных техногенных катастроф в штатах, где проводится активная разработка сланцевых месторождений, с каждым годом возрастет.

По данным USGS, с 2010 до 2014 гг. было зафиксировано около 450 землетрясений силой в 3 и более баллов, или в среднем более 100 в год. При этом в период наблюдений с 1970 по 2000 гг. среднее количество подобных землетрясений составляло около 20.

Список литературы

1. Трипольский А.А., Калюжная Л.Т., Трипольская В.А. Прогнозирование возможных сейсмогенных зон в Днепровско-Донецком палеорифте // Геофиз. журн. – 2012. – №1. – Т.34. – С.95-104.
2. Соллогуб В.Б. Литосфера Украины. Киев: Наук. думка, 1986. – 184 с.
3. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Пустовитенко А.А., Скляр А.М. Инструментальные и макросейсмические данные о процессах в очаговой зоне Криворожского землетрясения 25 декабря 2007г. // Геофиз. журнал. – 2010. – №2. – Т.32. – С.75–97.
4. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Под ред. Н.В. Кондорской и Н.В. Шебалина. М.: Наука, –1977. – 536с.
5. Тектоническая карта Украины. М-б 1:1 000 000. Пяснительная записка. – Киев: УкрНГРИ, 2007. – часть I – 95 с., часть II – 74 с.

*Рекомендовано до публікації д.г-м.н. Тяпкіним К.Ф.
Надійшла до редакції 15.11.2014*

УДК 553.41:550.387

© К.О. Змиевская

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ И ЛИНЕЙНЫХ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ И ИХ СВЯЗЬ С ЗОЛОТОРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИЕЙ НА УЧАСТКЕ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОЕ (СОЛОНЯНСКОЕ РУДНОЕ ПОЛЕ)

Приведены результаты выделения разрывных нарушений, а также линейных кор выветривания участка рудопроявления Солнечное. Показана связь между жильными зонами и зонами прожилкования, выделенными на исследуемом участке, к которым чаще всего приурочена золоторудная минерализация и уровнем наблюдаемого естественного импульсного электромагнитного поля Земли.