

УДК 556.3.06

О СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ КРИВОРОЖСКО-КРЕМЕНЧУГСКОЙ И ОРЕХОВО-ПАВЛОГРАДСКОЙ ШОВНЫХ ЗОН УКРАИНСКОГО ЩИТА

Пигулевский П. И.

(ДГЭ «Днепрогеофизика», г. Днепрпетровск, Украина)

В роботі розглядаються геолого-геофізичні особливості будови та сейсмічності Криворізько-Кременчуцької та Орхівсько-Павлоградської шовних зон Українського щита.

Geologic-geophysical structural features and seismicity of the Krivoy Rog-Kremenchug and Orekhovo-Pavlograd suture zones of the Ukrainian shield are considered.

Введение. По сейсмическому районированию территорию Восточно-Европейской платформы (ВЕП) относят к асейсмичным или слабосейсмичным регионам. Известно, что за последние 200 лет в ее пределах произошло более 150 землетрясений: от относительно сильных, параметры которых определены по макросейсмическим данным, до сравнительно слабых – зарегистрированных в последние десятилетия сейсмическими станциями России, Украины и Молдовы.

Как правило, землетрясения на ВЕП характеризуются магнитудой (M) от 3 до 4 и интенсивностью (балльностью) 4-5. В то же время на платформе зарегистрированы события с $M \geq 5$ [1, 4-8]. Наиболее сейсмоактивными являются резко выступающие углы древних платформ и участки изометричного полигонального очертания, примыкающие к орогенным областям. При этом степень современной активизации краевых участков древних платформ зависит от геодинамической обстановки, тектонической и сейсмической активности примыкающих складчатых

зон и орогенных областей. Сейсмичность центральных областей этих платформ значительно ниже. Наблюдается определенная приуроченность землетрясений к геологическим границам основных структурных элементов древних платформ. В областях авлакогенов землетрясения в подавляющем большинстве приурочены к бортовым зонам. Для щитов характерно то, что землетрясения приурочены к межблоковым шовным зонам, разделяющих мегаблоки (крупные структуры) с различными литолого-стратиграфическими комплексами пород, имеющими и различную плотность. Гипоцентры землетрясений здесь характеризуются в основном глубинами 5-10 км [5-8].

Основной задачей данной статьи является краткий анализ геолого-геофизической информации и предварительная оценка сейсмичности потенциально тектонически-активных зон юго-восточной части УЩ.

Общие сведения о сейсмичности платформенной части Украины. В пределах центральной и восточной Украины к слабосейсмичным регионам можно отнести: Днепровско-Донецкую впадину (ДДВ) и Донбасское складчатое сооружение, юго-восточную часть Украинского щита (УЩ) и зону их сочленения. В настоящее время эти регионы характеризуются слабой сейсмической изученностью, обусловленной не отсутствием сейсмичности, а тем, что землетрясения с $M \geq 3,5$ происходят на платформах редко, а на изучение более слабых землетрясений не рассчитана существующая сеть сейсмических станций в Украине. В целом же, для платформенной части Украины и прилегающих областей характерно крайне неравномерное распределение эпицентров землетрясений, причем наиболее интенсивное сейсмическое воздействие оказывают землетрясения из примыкающих сейсмо-активных регионов: Карпатского, Румынского, Крымско-Черноморского.

Согласно вышеизложенному, потенциально тектонически-активными зонами (в которых могут происходить различные подвижки) являются области сочленения крупных структур и блоков, контрастных по плотностным параметрам. Внутри этих зон особое место занимают тектонические (разломные узлы), которые по своему геологическому строению и геодинамическим

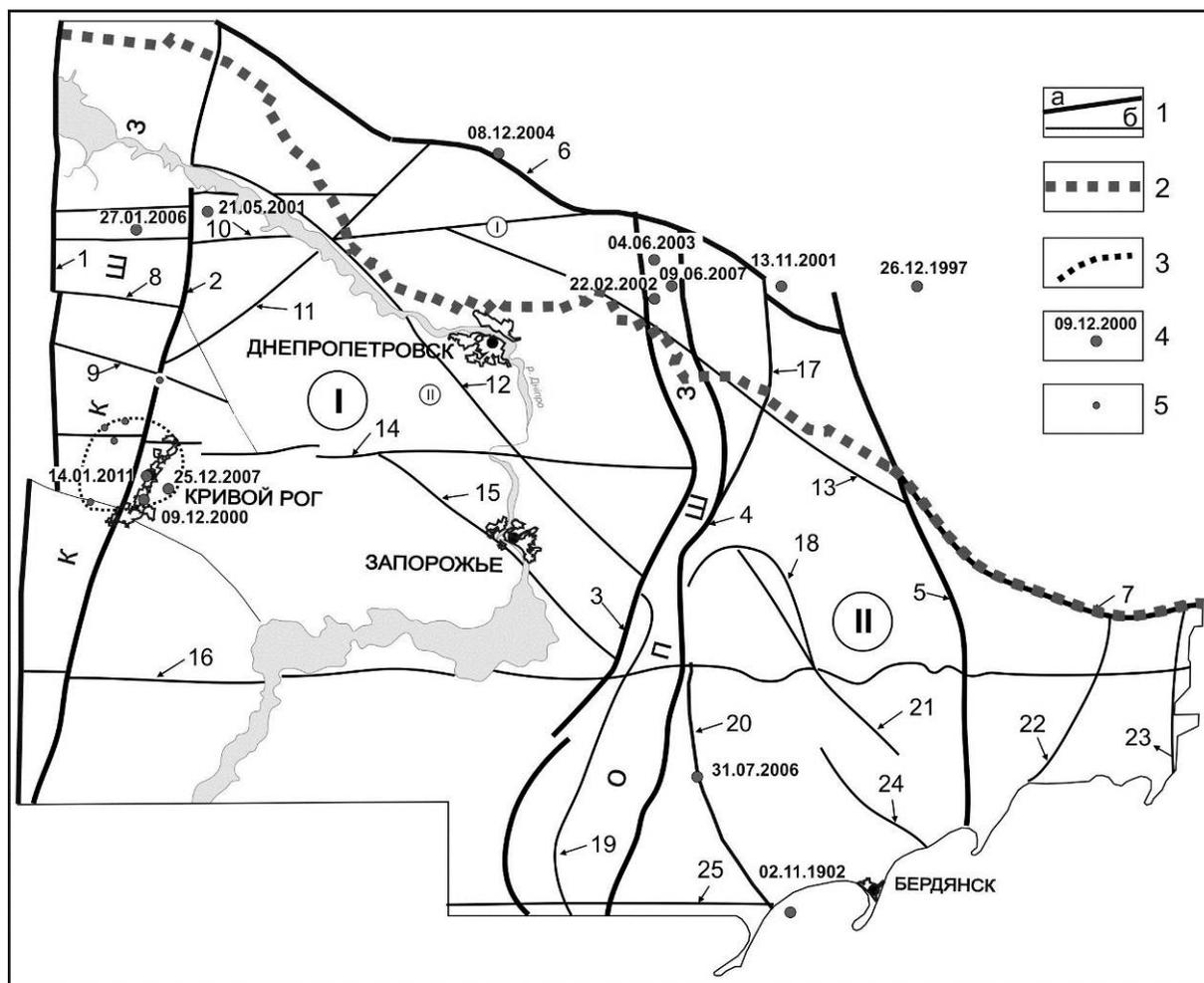
особенностям являются специфическими участками земной коры. При этом определенный интерес представляют региональные разломы (а в них – участки концентраций сдвигов и их комбинаций, взбросы и надвиги). Разломные узлы, генерирующие умеренные и сильные землетрясения, в плане имеют сравнительно небольшие размеры (т.к. у сейсмоактивных разломов – узкие зоны). Основные тектонические напряжения в узле могут накапливаться при горизонтальных и сложных (горизонтально-вертикальных) движениях.

В пределах юго-восточной части УЩ к слабосейсмичным районам (к потенциально тектонически-активным зонами) можно отнести области сочленения УЩ с ДДВ и Причерноморской впадиной, а также Криворожско-Кременчугскую (ККШЗ), Орехово-Павлоградскую (ОПШЗ) шовные зоны и образующие их глубинные разломы (рис. 1).

Криворожско-Кременчугская сейсмогенная зона (рис. 1) приурочена к одноименной шовной зоне. В ее пределах, начиная с середины 90-х годов и по настоящее время, был зарегистрирован ряд землетрясений [1], магнитуда большинства из них не превышает значения 4,0. Эпицентры землетрясений: – 24. 05. 1996 г. (08 ч. 59 мин., $M = 3,3$); – 21. 05. 2001 г. (01 ч. 53 мин., $M = 3,7$); – 12. 02. 2002 г. (12 ч. 12 мин., $M = 3,7$) в соответствии с координатами, приведенными в различных каталогах (EMSC, ISC), находятся в районе ККШЗ.

Согласно источнику [5], землетрясение, произошедшее 9. 12. 2000 г. (12 ч. 20 мин., $M = 3,9$), отмечено вблизи Кривого Рога, в ISC приведены три варианта расположения эпицентра; координаты по широте различаются на $0,3^\circ$, по долготе – на $0,1-0,2^\circ$ (см. рис. 1). Очаг расположен в верхней части земной коры на глубине 10 км и, согласно приведенным координатам эпицентра (данные ISC), находится на расстоянии 3 км от ККШЗ.

Землетрясение 25. 12. 2007 г. в 4 ч. 09 мин. зарегистрировано станциями Института геофизики (ИГ) НАН Украины (рис. 2). По макросейсмическим данным магнитуда в эпицентре оценена в 3,9.



Цифры в кружках: **I** – Среднеприднепровский мегаблок; **II** – Приазовский мегаблок.

Шовные зоны: **ККШЗ** – Криворожско-Кременчугская; **ОПШЗ** – Орехово-Павлоградская.

Разломы: 1 – Западноингулецкий; 2 – Криворожско-Кременчугский; 3 – Орехово-Павлоградский; 4 – Западноприазовский; 5 – Новопапавловско-Володарский; 6 – Южный краевой ДДВ; 7 – Южнодонбасский; 8 – Добронадеенский; 9 – Спасский; 10 – Бородаевский; 11 – Комиссаровский; 12 – Днепродзержинский; 13 – Самарский; 14 – Девладовский; 15 – Хортицкий; 16 – Конкский; 17 – Васильевский; 18 – Гайчурский; 19 – Новопапавловский; 20 – Корсакский; 21 – Куйбышевский; 22 – Кальмиусский; 23 – Грузско-Еланчинский; 24 – Сорокинский; 25 – Южноприазовский;

1 – разломы I ранга (а), разломы II ранга (б); 2 – граница раздела структур I порядка ДДВ и УЩ; 3 – предполагаемая область эпицентров землетрясений вблизи г. Кривой Рог; 4 – эпицентр землетрясения и его дата; 5 – варианты расположения эпицентра землетрясения 09.12.2000, 25.12.2007 и 14.01.2011 гг. по данным разных каталогов

Рис. 1. Основные разрывные структурные элементы юго-восточной части Украинского щита

Таблица 1

Краткий список параметров обработки землетрясения
 14. 01. 2011 г., определенных на разных станциях

Название станции	Время T_0	Широта	Долгота	Глубина h , км	Магнитуда		
					b	M _I	M
BUC	07:03:19	47,95	33,18	44,0		4,0	
INFO	07:03:17	48,14	33,29	30,0	3,9	-	
GSRC	07:03:12	48,20	33,34	5,0			3,9
Киев-IRIS	07:04:21	48,054	33,564	4,99		4,0	

Также неоднозначно приведены данные о глубине очага этого землетрясения: 0 км (isc); 30,0 км (emsc-csem); 4,99 км (iris); 44 км (neic – варианты в разный период времени). Краткий анализ записей, сделанных сейсмической станцией Киев-IRIS (рис. 3) показывает четкие вступления первой волны P_g и поверхностной волны L_g.

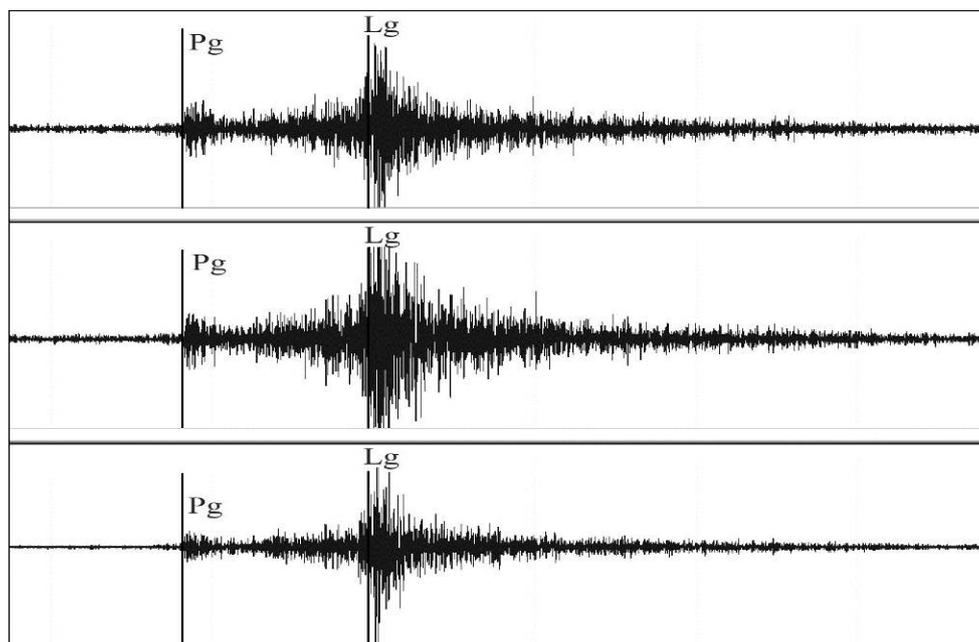


Рис. 3. Трехкомпонентная запись сейсмического события, произошедшего в Кривом Роге 14 января 2011 года

Необходимо обратить внимание, что на стандартной записи локального землетрясения не выделено вступление сдвиговой волны S, наличие которой в записях локальных землетрясений

можно обнаружить практически всегда. При отсутствии этого параметра вступления обработка землетрясения 14.01.2011 г. была проведена только по вступлениям волн P_g и L_g.

Для подтверждения природы данного события был проделан спектральный анализ сейсмических записей. Результаты Фурье-анализа всех трех компонент записи Криворожского землетрясения показывают наличие пиков на частотах ниже 1 Гц, что говорит о нетехногенном происхождении данного события.

Что касается точности определения координат эпицентра, то на рис. 1 видно, что разброс значений его положения связан с большим удалением сейсмических станций, регистрирующих эти события. Их использование позволяет лишь приближенно оценить глубину и пространственное положение очага. Для более четкой привязки эпицентров необходимо организовать несколько станций наблюдений непосредственно вблизи г. Кривой Рог.

Орехово-Павлоградская сейсмогенная зона (см. рис. 1) приурочена к одноименной шовной зоне. Специалистами Воронежской сейсмологической лаборатории Геофизической службы РАН отмечена повышенная сейсмическая активность северной части ОПШЗ. Вблизи г. Павлограда были зафиксированы три сейсмических события (см. рис. 1). Согласно их данным, землетрясения с M более 3 произошли 22.02.2002, 04.06.2003 и 09.06.2007 г. В геолого-тектоническом отношении они тяготеют к участку сочленения Южного краевого разлома Днепровского грабена с ОПШЗ [8]. Еще одно землетрясение с магнитудой более 3 зарегистрировано в узле его пересечения с Васильевским разломом 13.11.2001 г. (см. рис. 1).

Кроме этих трех событий Крымским сейсмологическим центром ИГ НАН Украины 31.07.2006 г. было зафиксировано землетрясение в пределах Корсакского разлома. Его магнитуда составляет 3,8, глубина очага – 6 км.

Возможно, правы геологи-съемщики, которые считают, что Васильевский и Корсакский разломы определяют западную границу ОПШЗ.

Геолого-геофизическая характеристика потенциально тектонически-активных зон юго-востока УЩ. Большой объем глубинных геофизических исследований, выполненных в восточ-

ной Украине, дал возможность получить детальную информацию о структуре земной коры, её электрических и упруго-скоростных параметрах. Особенности гравитационного и магнитного полей, совместно с результатами изучения петрофизических свойств пород докембрия, позволили районировать территорию этой части УЩ на блоки с контрастными структурными и физическими свойствами [2, 3]. Проведенное трехмерное плотностное моделирование по гравитационному полю позволило оценить средневзвешенную плотность земной коры в пределах блоков разных порядков и выделить в них отдельные слои и структуры.

ККШЗ расположена между крупными мегаблоками – «легким и высокоомным» Среднеприднепровским и «тяжелым и низкоомным» Ингульским [2, 3]. Эта зона является сосредоточением процессов дробления и милонитизации слагающих их пород, в ней развиты исключительно напряженные складчатые деформации (наиболее четко проявлена изоклиральная складчатость с крутым падением осей на запад) и разнообразные проявления магматизма. Для зоны характерны протяженные субпараллельные разломы высоких порядков с преобладанием взбросов и нередко надвигов, ориентированные согласно ее простиранию, а также многочисленные ортогональные или косоориентированные нарушения. В совокупности те и другие обуславливают блоковый характер внутренней структуры шовной зоны (см. рис. 1).

По геофизическим данным под этой зоной устанавливается утолщение земной коры до 55-60 км на юге и до 48-52 км – на севере. Южная часть зоны имеет более высокоскоростной разрез в нижней части коры, где скорость достигает 7,3-7,5 км/с, а на границе раздела кора-мантия составляет 8,3-8,5 км/с. В северной части зоны в низах коры пластовые скорости достигают значений 7,05-7,1 км/с. Здесь же фиксируются и пониженные до 8,1-8,2 км/с значения граничных скоростей сейсмических волн на разделе кора-мантия. По материалам глубинного сейсмического зондирования на глубинах порядка 7-10 км установлен инверсионный слой, где скорость падает на 0,1-0,2 км/с. По данным плотностного моделирования, в пределах рассматриваемой зоны, кора преимущественно гнейсо-гранитная. Поле силы тяжести характеризуется четко выраженным гравитационным минимумом в

южной части зоны и градиентом (гравитационной ступенью) – в северной.

Геоэлектрический разрез и результаты плотностного моделирования показывают, что ККШЗ имеет общее падение на запад. Угол наклона сместителя Криворожско-Кременчугского глубинного разлома (ККГР) в зависимости от пересекаемых глубинных слоев изменяется от 50 до 80°. Зона разлома имеет сложное бифуркационное строение. Её угол падения, по всей видимости, зависит от пересечения границ разных литологических групп пород, уровней (градиентов) изменения всестороннего и порового давления, температуры и скорости деформации.

Глубинные разломы более высоких порядков, ограничивающие зону с востока и запада, проявляются в поле силы тяжести в виде системы разноамплитудных гравитационных ступеней, а отдельные разрывные нарушения внутри зоны прослеживаются по цепочкам отрицательных локальных гравитационных аномалий и многочисленным линейным знакопеременным аномалиям магнитного поля. Интенсивность отдельных положительных магнитных аномалий достигает 10^3 - 10^4 нТл.

Необходимо также отметить, что ККШЗ (и ККГР в частности) находит свое отражение и в динамике платформенного чехла, особенно кайнозойского времени. Выполненные геологосъемочные работы на Криворожском и Желтоводском листах М 1:200 000 показали, что блоки фундамента в северной части ККШЗ на протяжении этого времени испытывали разнонаправленные движения, а смежные с востока, начиная с палеогена, – поднятие. Все это предопределяет возможности проявления тектонической активности и в настоящее время. В пользу последнего также свидетельствуют материалы изучения современных вертикальных движений земной коры в пределах платформенной части Украины [9]. В районе ККГР (возможно совпадая с ним?) проходит граница между областями-блоками УЩ, характеризующимися различными скоростями поднятия: от 2-4 мм/год на востоке до >10 мм/год на западе.

ОПШЗ является межблоковой шовной зоной между СПМ и ПМ. С запада ее ограничивает Орехово-Павлоградский глубинный разломом (ОПГР), а с востока – крупный внутрикоровый За-

падноприазовский разлом. Разломы субмеридиональные, почти параллельные (см. рис. 1). В строении ОПШЗ выделяются два структурных этажа: нижнеархейский и верхнеархейский. Породы первого выходят на поверхность в пределах Новопаоловского блока и в южной части зоны. Блок характеризуется сложноскладчатым узором структурного плана, резко дисгармоничным с окружающей линейной изоклиальной складчатой системой, в которую смяты породы центрально-приазовской серии. Оси изоклиальных складок падают на восток под $65-75^{\circ}$ (преимущественно). По геофизическим материалам зона прослеживается далеко на север, за пределы щита, из чего следует вывод о том, что ПМ и СПМ современного среза представляют лишь фрагменты древних более обширных по площади палеоплит [2, 3].

ОПШЗ хорошо проявляется в поведении поверхности М. В северной части к ней приурочено опускание последней до глубин $-48 \div -46$ км. Поверхность здесь слабо изрезанная. В центральной части зоны она имеет платообразную форму и «лежит» на глубине от -44 до -46 км [3]. Южнее Конкского разлома ОПШЗ находит свое отражение в сложнопостроенном трогообразном прогибе поверхности М, который погружается в южном направлении до глубин $-54 \div -52$ км. Поднятия и погружения более высоких порядков в пределах прогиба имеют вытянутость вдоль шовной зоны. Приведенные выше данные о поверхности М под ОПШЗ однозначно свидетельствуют о её резком отличии от граничащих с запада и востока соответственно СПМ и ПМ УЩ [3].

Земная кора ОПШЗ имеет отчетливо выраженное гетерогенное строение как по латерали, так и на глубину. В отличие от окружающих структур она характеризуется большей неоднородностью коры. Под ОПШЗ проявляется более сложное строение переходной зоны кора-мантия и ее увеличенная мощность в юго-западной части (скорость $7,05-7,1$ км/с, расчетная плотность $-3,05-3,14$ г/см³) [3]. Формирование переходной зоны на границе раздела кора-мантия, очевидно, связано с геодинамическими процессами, происходившими в неархейское - палеопротерозойское время, возможно, одновременно с заложением ОПШЗ.

Низы коры в южной части зоны, по всей видимости, имеют наиболее высокоскоростной разрез, где $V = 7,2-7,4$ км/с, а на гра-

нице раздела кора-мантія гранична шкорость может достигать значений 8,2-8,4 км/с. В северной части зоны (по линии геотраверса IV) пластовые скорости в низах достигают значений 7,05-7,1 км/с [7]. Здесь же фиксируется и снижение скорости сейсмических волн, в верхней части мантии достигающей 8,1-8,2 км/с. В ОПШЗ кора преимущественно гранулит-гранитная. На юге ОПШЗ поле силы тяжести имеет четко выраженный гравитационный минимум, что не характерно для северной части.

В пределах ОПШЗ осадочный слой и кора выветривания характеризуются повышенной продольной проводимостью до 20-30 См·м [3] по сравнению с СПМ и ПМ. Большинство кривых здесь параллельны, причем $\rho_x < \rho_y$. Причину наблюдаемого расхождения кривых в условиях относительно хорошо проводящей ОПШЗ трудно объяснить только поверхностными эффектами.

ОПШЗ является сосредоточением процессов дробления и милонитизации слагающих их пород, в ней исключительно сильно развиты складчатые деформации (наиболее четко проявлена изоклиальная складчатость с крутым падением осей на восток) с разнообразным проявлением магматизма. Для неё характерны дугообразные и субпараллельные разломы значительной протяженности, преимущественно ориентированные согласно простиранию зоны, а также многочисленные косоориентированные или даже поперечные по отношению к простиранию зоны разрывные нарушения более высоких рангов; в совокупности те и другие обуславливают сдвигово-блоковый характер внутренней структуры шовной зоны (см. рис. 1).

ОПГР отделяет с запада ПМ от СПМ. Этот разлом трассируется далеко за пределы щита, хорошо выражен в физических полях, но не фиксируется по материалам аэрофотосъемок и, судя по профилю ГСЗ Геотраверс-IV, смещения с поднятиями в разделе М отмечены восточнее его эрозионного среза. Положение ОПГР хорошо подчеркивается поведением изолиний поверхности М. В северной и южной частях тектоническое нарушение приурочено к уступу изолиний. Перепад глубин составляет от 6 до 10 км. В центральной части отмечается более спокойное поведение поверхности М, разлом картируется по изгибам изолиний с отметками -46 и -44 км. Зона разлома характеризуется широким орео-

лом метасоматических изменений, главным образом микроклинизацией.

Геоэлектрический разрез и результаты плотностного моделирования показывают, что ОПГР имеет общее восточное падение и наклонно-ступенчатую морфологию сместителя. Угол наклона сместителя, в зависимости от пересекаемых глубинных слоев, изменяется от $\sim 70-80^\circ$ (у поверхности фундамента) до $50-55^\circ$ – в верхней части земной коры, $65-70^\circ$ – в средней части, $55-60^\circ$ – в нижней и $40-50^\circ$ – в верхней мантии. Зона разлома, также как и для ККГР, имеет сложное бифуркационное строение, при этом угол падения, по всей видимости, меняется в разных петрографических группах пород и зависит от литостатического давления. Поэтому на каждом глубинном уровне разлом представляет собой не магистральную линию сместителя, а состоит из тектонических структур высоких порядков.

На глубинном сейсмо-электрическом разрезе по изолиниям эффективного сопротивления и отражающим площадкам отдельные пологие ветви ОПГР можно зафиксировать в низах коры западной части и в верхней мантии центральной части ПМ.

Заключение. Результаты сейсмической обработки землетрясений, которые произошли за последние десятилетия, показывают, что платформенная часть территории Украины стала более сейсмоактивной. В первую очередь, землетрясения участились в местах активной добычи и переработки полезных ископаемых.

Результаты исследований показывают, что, в соответствии со структурно-физическими неоднородностями земной коры и верхней мантии, степень отражения их в динамике неоген-четвертичных отложений, а также характеристиками конкретных землетрясений на территории юго-восточной части УЩ, можно предположить два типа сейсмогенных зон: с повышенной сейсмичностью, к которой приурочены землетрясения с $M = 4-5$ (зона сочленения УЩ с ДДВ и Донбасским складчатым сооружением) и средней – $M = 3,5-4$ (выступающие части щита в ДДВ, ККШЗ и ОПШЗ).

При отсутствии внешних влияний на указанные зоны землетрясения распределены случайно и «спусковым крючком» может быть всего лишь процесс перемещения добытых и переработан-

ных огромных масс горных пород, тем самым, перераспределения части их во времени и пространстве [6].

Современные тектонические процессы являются важным техногенным и экологическим фактором не только в сейсмоактивных районах, но и в пределах УЩ. Последний характеризуется слабой сейсмической изученностью, что предопределяет необходимость всестороннего (в т. ч. геолого-геофизического) изучения потенциально тектонически-активных зон.

Кроме того, создавшаяся ситуация требует организации локальных пунктов для регистрации местных землетрясений с включением их (в режиме он-лайн) в единый национальный центр, что позволит в значительной мере не только совершенствовать прогноз возможных катастрофических явлений природного и техногенного характера, но и изучать современные геодинамические процессы, происходящие в тектоносфере.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Берри Б.Л. Основные системы геосферно-биосферных циклов и прогноз природных условий / Биофизика, 1992. – т. 37, вып. 3. – С. 414-428.
2. Геолого-геофизическая модель Криворожско-Кременчугской шовной зоны Украинского щита / Н. Я. Азаров, А. В. Анциферов, Е. М. Шеремет и др. – К.: Наук. думка, 2006. – 196 с.
3. Геолого-геоэлектрическая модель Орехово-Павлоградской шовной зоны Украинского щита / Н. Я. Азаров, А. В. Анциферов, Е. М. Шеремет и др. – К.: Наук. думка, 2005. – 190 с.
4. Котляр П.Е., Ким В.И. Положение полюса и сейсмическая активность Земли. – Новосибирск: Объед. инст. геологии, геофизики и минералогии СО РАН, 1994. – 124 с.
5. Кугас В.В., Омельченко В.Д., Дрогицкая Г.М., Калитова И.А. Криворожское землетрясение 25 декабря 2007 г. // Геофиз. журн. – 2008. – 31, № 1. – С. 42-52.
6. Пигулевский П.И. К вопросу о сейсмической активности юго-восточной части Украинского щита // Геотехнічна механіка. – 2000. – Вип. 17. – С. 302 - 309.

7. Пигулевский П.И. К вопросу геолого-геофизического изучения сейсмической активности юго-востока Украинского щита / Пигулевский П.И., Козарь Н.А., Тяпкин О.К. // Науковий вісник НГУ. – 2000. – № 6 – С.70 – 75.
8. Сейсмичность Воронежского кристаллического массива / Л.И.Надежка, А.И.Дубянский, С.Н.Кашубин, А.А.Скребнев // Сб. научн. трудов НГА Украины. – № 6, т. 3. – Днепропетровск: РИК НГА Украины, 1999. – С. 138-142.
9. Собакарь Г.Т., Сомов В.И., Кузнецова В.Г. Современная динамика и структура земной коры Карпат и прилегающих территорий. – Киев: Наук. думка, 1975. – 128 с.