

УДК 556.3.06

П.Г. Пигулевский

## НЕОТЕКТОНІКА, ГЕОДИНАМІКА І СЕЙСМІЧНОСТЬ ДОКЕМБРИЙСКИХ ЩИТОВ (НА ПРИМЕРЕ ВОСХОДНОЇ ЧАСТИ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА)

Наведено результати інтерпретації даних моніторингу гідрогеодинамічних параметрів підземних вод у Дніпропетровській області з метою визначення можливих неотектонічних змін у докембрійських масивах гірських порід і виявлення критеріїв провісників землетрусів. Показано необхідність створення національної бази даних результатів моніторингу гідрогеодинамічних параметрів підземних вод для вивчення неотектонічних та геодинамічних процесів у всіх геологічних регіонах України.

The preliminary interpretation results of monitoring data of hydrodynamic parameters of groundwater in Dnepropetrovsk region for the purpose of tectonic changes forecast in the massifs and searching of earthquake precursors are given. The necessity of creation the national data base of monitoring results of groundwater hydrodynamic parameters, executed at all regions of Ukraine, is pointed out.

**Введение.** На протяжении последних десятилетий в странах СНГ был выполнен значительный объем режимных наблюдений в скважинах для поисков гидродинамических предвестников землетрясений. В результате этих работ были выделены две основные разновидности гидрогеологических предвестников – гидродинамические и гидрогеохимические, но их сейсмопрогностическая информативность была далека от предъявляемых требований. Прежде всего, это объективные недостатки в режимных наблюдениях, которые имели в основном регионально-фрагментарный, несистематический характер и слабую базу технических средств, используемых при наблюдениях. Такие обстоятельства привязывали исследователей к сейсмогенным регионам, потому что в них более контрастно и с большими амплитудами проходят гидродинамические и гидрогеохимические процессы.

В начале XXI ст. с развитием базы микропроцессорной электроники начался новый этап в формировании гидрогеологических исследований в целях прогноза землетрясений, которые основываются на высокоточной и непрерывной во времени регистрации изменений параметров режима подземных вод в скважинах под влиянием процессов формирования и прохождения землетрясений.

Региональное изучение режима подземных вод с целью установления закономерностей и особенностей проявления гидрогеологических предвестников землетрясений в асейсмичных регионах Украины были начаты Днепропетровской геофизической экспедицией (ДГЭ) «Днепрогеофизика», в октябре 2007 г. [4, 5].

Первая оценка результатов непрерывных исследований показала наличие связи между проявлениями гидрогеологических процессов с современными деформациями земной коры на стадиях подготовки, осуществления и после

завершения сильных землетрясений не только в ближайших сейсмоактивных зонах (гора Вранча, Черное море) и местных [2, 3] – в Криворожско-Кременчугской и Орехово-Павлоградской шовных зонах и зоне Южного краевого разлома Днепровского грабена (рис. 1), но и значительно удаленных – Китай (Сичуань, май 2008 г.) и Япония (Хонсю, март 2011 г.).

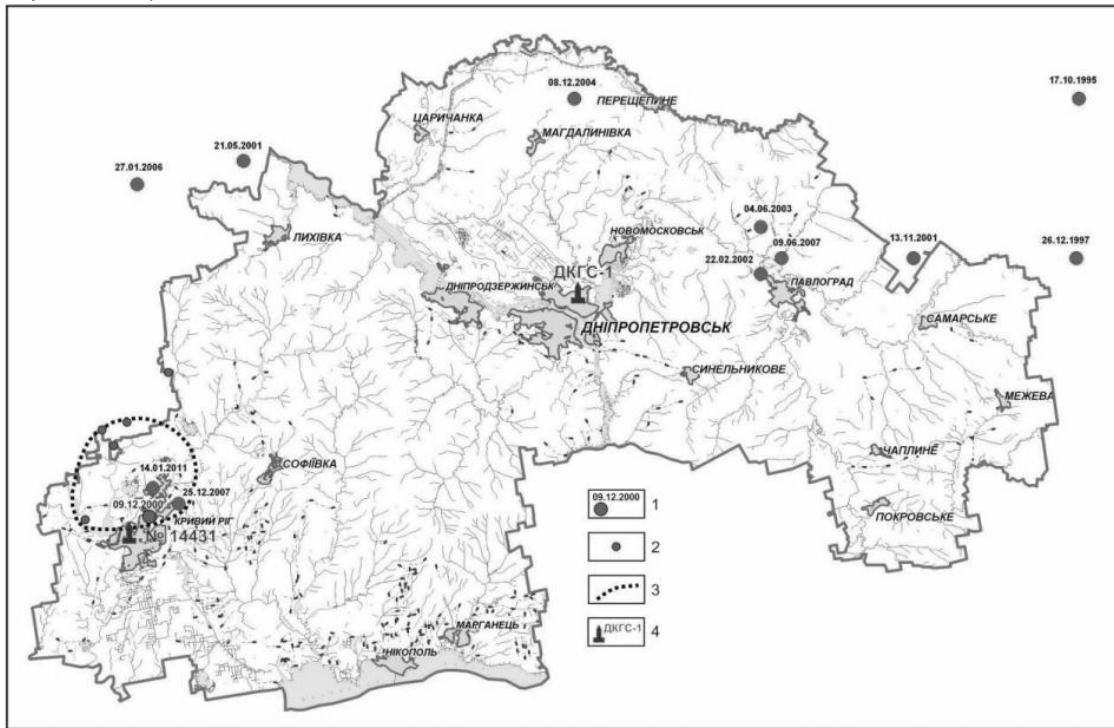


Рис. 1. Обзорная карта расположения эпицентров землетрясений и скважин мониторинговых наблюдений за гидрогеодинамическими параметрами подземных вод: 1 – эпицентр землетрясения и его дата; 2 – варианты расположения эпицентра землетрясения 09.12.2000, 25.12.2007 и 14.01.2011 гг. по данным разных каталогов; 3 – предполагаемая область эпицентров землетрясений вблизи г. Кривой Рог; 4 – скважины мониторинговых наблюдений.

Изучение режима подземных вод проводилось в специально оборудованных для мониторинга двух пунктах наблюдений (скважинах) в городах Днепропетровск и Кривой Рог [4, 5]. Они были оборудованы специальными автономными регистрирующими «интеллектуальными» датчиками (ИД), которые установлены непосредственно в скв. 14431 глубиной 815 м со статическим уровнем воды 106 м от дневной поверхности (г. Кривой Рог) и в контрольно-градуировочной скважине на производственной базе инженерно-геофизического центра ДГЭ глубиной 85 м со статическим уровнем воды 17 м (г. Днепропетровск). С сентября 2009 по январь 2010 г. таким же ИД была оборудована контрольно-градуировочная скважина на базе Белозерской геофизической партии ДГЭ в п.г.т. Михайловка Запорожской области (глубиной 220 м и статическим уровнем воды 8 м). Схема размещения пунктов наблюдений представлена на рис. 1.

В г. Кривой Рог ИД расположен в зоне влияния Криворожско-Кременчугской шовной зоны, в г. Днепропетровск (на левом берегу р. Днепр) и п.г.т. Михайловка (на левом (южном) берегу Каховского водохранилища) – в пределах монолитных массивов гранитоидов Среднеприднепровского мегаблока. Частота регистрации данных наблюдений с октября 2007 до июля 2008 г. была запрограммирована на интервал в 20 минут, а в дальнейшем и по настоящее время – на интервал 5 минут. Чувствительность

ИД при регистрации уровня воды составляет 0,1 см, атмосферного давления – 1 мм. рт. ст., температуры 0,01° С.

**Результаты исследований напряженно-деформационного состояния земной коры.** Благодаря полученным с ИД датчиков информации была установлена зависимость колебаний уровня воды и температуры в наблюдательных скважинах от изменения напряженно-деформационного состояния земной коры и атмосферного давления на протяжении почти 42 месяцев (с октября 2007 по март 2011 г.).

Материалы мониторинга показывают (рис. 2), что зарегистрированные изменения уровня воды имеют широкий частотный и амплитудный спектр колебаний на фоне абсолютных изменений в начале, во время и после завершения геодинамических процессов, связанных с землетрясениями. Этот процесс приводит к изменениям гидродинамики (сиреневый график на рис. 2) в подземных водах – сначала уровень воды снижается (тектоническое растяжение), потом на некоторое время стабилизируется и снова поднимается (тектоническое сжатие). По гидрогеодинамическим параметрам и их реакции на деформации сжатия и растяжения в верхних слоях Земли хорошо фиксируются не только общие (круглогодичные тренды) и региональные изменения колебаний уровня подземных вод (в зависимости от тектонических движений в земной коре, вызванных крупными землетрясениями), но и локальные (местные) особенности неотектонических событий (рис. 2, черный график, уровень воды в г. Кривой Рог).

В зависимости от соотношения величин магнитуды (М) и гипоцентрального расстояния землетрясений R гидрогеодинамические вариации могут состоять из нескольких частей: пред-, ко- и постсейсмических, каждая из которых определяется различными факторами сейсмического воздействия. В изменениях всех многомерных временных рядов были выделены сигналы предвестниковой асинхронизации колебаний, связанные с масштабными воздействиями процессов подготовки сильных землетрясений на гидродинамические составляющие режима подземных вод. Подтверждением достоверности сигналов служит их проявление по комплексу параметров режима подземных вод (рис. 2).

Как видно на рис. 2, геодинамические процессы в массиве докембрийских пород по разному проявляются в городах Кривой Рог и Днепропетровск. Например, в январе 2011 г. был зарегистрирован момент неотектонической активизации по уровню воды в скв. 14431, который начался 7 января в 21 час 45 минут. В результате чего уровень воды в скважине за 45 минут упал на 7-8 см. Это связано, по всей видимости, с раскрытием сети мелких разломов и повышением трещиноватости докембрийских пород. При этом подобного явления не отмечается в скважине, расположенной в г. Днепропетровске, что говорит об активизации тектонических процессов в районе Криворожско-Кременчугского глубинного разлома за 6 суток и 8 часов.

На рис. 2 видно, что геодинамический параметр воды за несколько дней до события в этих двух скважинах начал вести себя индивидуально. Спустя 3 дня он стал снова синхронно работать. При этом на графиках заметно, что растет локальная аномалия сжатия в земной коре (сиреневый график на рис. 2), которая после землетрясения 14 января пошла на спад.

Это означает, что современные неотектонические процессы могут обусловить существенные нарушения в монолитности массивов докембрийских пород, активизировать или образовать сеть мелких разломов и зон повышенной трещиноватости. Как следствие, существенно снижается степень сейсмостойкости территории, возникают потенциальные предпосылки вертикальных и горизонтальных перемещений отдельных блоков. Причиной последнего явления может быть чрезмерная техногенная нагрузка на блоки и зоны трещиноватости, обусловленные сооружениями отвалов, шламохранилищ и прудов-накопителей. Следствием землетрясения стал обвал пород, который произошел 18 января 2011 г. на территории Центрального ГОКа.

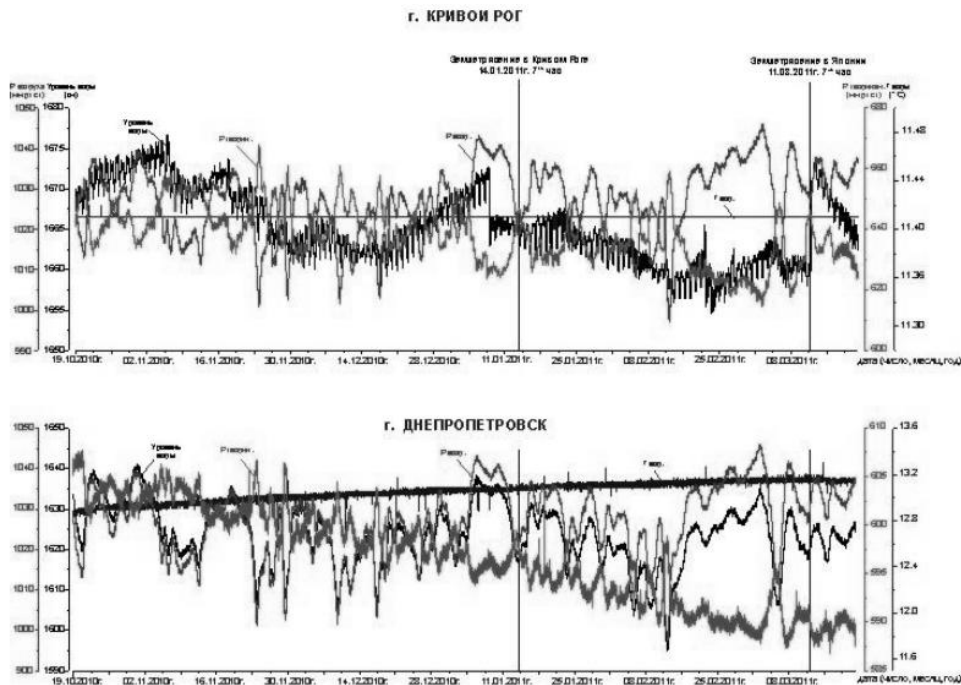


Рис. 2. Результаты наблюдений вариаций гидрогеодеформационного поля в скважинах Днепропетровской области с октября 2010 по март 2011 г.

Что касается землетрясения в Японии (вблизи о-ва Хонсю), которое произошло 14 марта 2011 г. в 7 часов 46 минут (по Киеву), то на рис. 2 видно, что уровень и геодинамическое давление воды накануне и после Криворожского землетрясения вели себя поразному. На графиках видно, что выделяются определенные промежутки времени и частотных полос, в которых наблюдается синхронное или асинхронное поведение различных параметров режима подземных вод в пространственно разнесенных мониторинговых скважинах. Возможно, первой меткой приближающегося катастрофического землетрясения надо считать аномалию сжатия, которая была зарегистрирована 12.02.2011 г. в 19 часов 40 минут одновременно в двух наблюдательных скважинах. Резкое понижение уровня воды в скважине г. Днепропетровск (растяжение) на 15-16 см до минимальной отметки было зарегистрировано на отрезке времени от 17 часов 05 минут до 17 часов 30 минут, при этом такого же снижения в скважине г. Кривой Рог не было зарегистрировано. Второй меткой, по всей видимости, была аномалия сжатия на фоне не выразительных знакопеременных процессов с максимумом 06.03.2011 в 6 час 00 мин, при снижении уровня воды в скв. ДКГС-1 на 26-28 см, чего не наблюдается в скв. 14431. На рис. 2 видно, что экстремумы поднятия и опускания уровня воды в скважинах сдвинуты по времени. После Японского землетрясения в скважине г. Кривой Рог был зарегистрирован фронт волны глобального сжатия, который проявился в увеличении уровня воды на 10 см с 8 часов 20 минут до 10 часов 15 минут. В дальнейшем происходит постепенное поднятие уровня воды еще на 4 см (с выходом на максимум в 21 час 20 минут). Интересен еще один факт, начиная с октября 2010 г. (рис. 2) температурный показатель воды установился на отметке 11,41° С, чего не отмечалось на протяжении предыдущих трех лет наблюдений (рис. 3). Возможно, этот факт может тоже служить предвестником катастрофических землетрясений?

Анализируя графики на рис. 2, можно отметить, что гидрогеодинамические предвестники, по всей видимости, также проявились и в форме увеличения скорости

понижения (величины тренда) уровня воды в течение 8-9 недель в скв. ДКГС-1 и в форме бухтообразного понижения уровня воды в скв. 14431 на протяжении 20 недель перед Японским землетрясением (Хонсю) с  $M = 8,9-9,0$ .

**Современная активизация докембрийских разломов.** На протяжении 2008-2010 гг. с помощью наблюдений за температурным режимом воды ИД в скв. 14431 были зафиксированы кратковременные активизации глубинных разломов Криворожско-Кременчугской шовной зоны (ККШЗ) или зоны одноименного глубинного разлома (рис. 3), при отсутствии существенных сейсмических воздействий в этой зоне.

В 2008 г. напряженно-деформационные процессы в Криворожско-Кременчугском разломе имели только сжимающий характер разной силы. В 2009 г. были зарегистрированы два момента его активизации (раскрытия) по температурному режиму: первый начался 8 июня в 3 часа 40 минут и закончился 2 августа в 1 час 25 минут; второй начался 11 ноября в 22 часа 00 минут и закончился 29 ноября в 2 час 30 минут. Как видно на рис. 3, первое событие было слабоинтенсивным и проявилось в повышении температуры не более чем на  $0,06-0,07^{\circ}\text{C}$ . Второе событие было более интенсивным. При этом повышение температуры в отдельные отрезки времени (импульсы) составляло  $0,6-0,8^{\circ}\text{C}$  и достигало абсолютных отметок в  $11,95^{\circ}$  и  $12,2^{\circ}\text{C}$ . В 2010 году были зафиксированы три момента его активизации: первый начался 23 февраля в 10 часов 05 минут и закончился 26 февраля в 20 часов 10 минут; второй начался 19 мая в 5 часов 15 минут и закончился 24 мая в 1 час 50 минут; третий начался 20 июля в 12 часов 35 минут и закончился 31 июля в 12 часов 15 минут. На рис. 3 видно, что импульсное повышение температуры достигало значений, соответственно:  $11,62^{\circ}\text{C}$ ,  $11,69^{\circ}\text{C}$  и  $11,53^{\circ}\text{C}$ , что может быть связано с увеличением мантийного потока флюидов в земную кору по раскрытому разлому.

Как следствие, во время «раскрытия» ККШЗ существенно снижается степень сейсмостойкости ее территории, что приводит к нарушениям в докембрийских породах, а следовательно, активизируются мелкие разломы и зоны трещиноватости.

Это оказывает определенное (отрицательное) влияние на техническое состояние больших гидротехнических сооружений, шламоохранилищ и прудов-накопителей и может привести к их постепенному разрушению и ускоренному подтоплению жилых массивов г. Кривой Рог и близлежащих населенных пунктов.

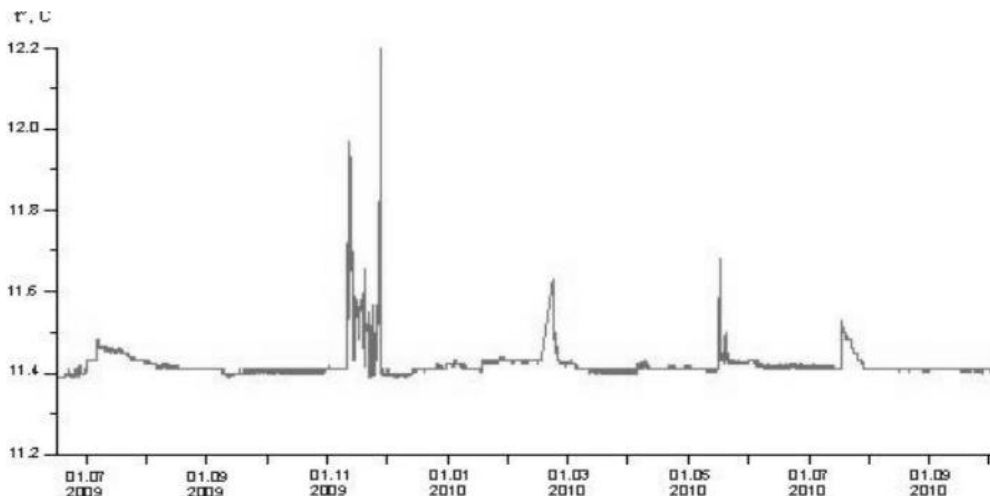


Рис. 3. Пример мониторинговых наблюдений за температурой подземных вод в г. Кривой Рог (интервал 5 минут)

### **Геодинамическое состояние региональной поверхности подземных вод.**

Наблюдения за уровнем подземных вод в двух скважинах, расположенных на расстоянии приблизительно 145 км (по прямой), дали повод для построения псевдорегиональных поверхностей ежесуточного состояния подземных вод на территории Днепропетровской области. Для этого нами был оборудован еще один пункт наблюдений на базе Белозерской геофизической партии ДГЭ в п.г.т. Михайловка (Запорожская область). По результатам исследований в трех скважинах строились карты параметров среднесуточной статической отметки уровня подземных вод (рис. 4), градиента его изменения и геодинамического давления. Комментируя рис. 4, надо отметить, что на кануне 23 сентября состоялось два землетрясения: одно в Румынии с  $M = 3,6$ ; второе в Турции – 3,85.

На следующий день, 24 сентября, южнее Крыма в Черном море в 7 часов 19 минут состоялось землетрясение с  $M > 3$  и глубине очага в 25 км.

На рис. 4 видно, что простираение изолиний поменяло свое направление, а, следовательно, изменились поля тектонических напряжений. К недостатку эксперимента необходимо отнести то, что исследования выполнялись в скважинах с разными гидрогеологическими условиями, характеризующимися составом, возрастом, фильтрационными свойствами водовмещающих пород, особенностями строения водоносных систем и глубин скважин.

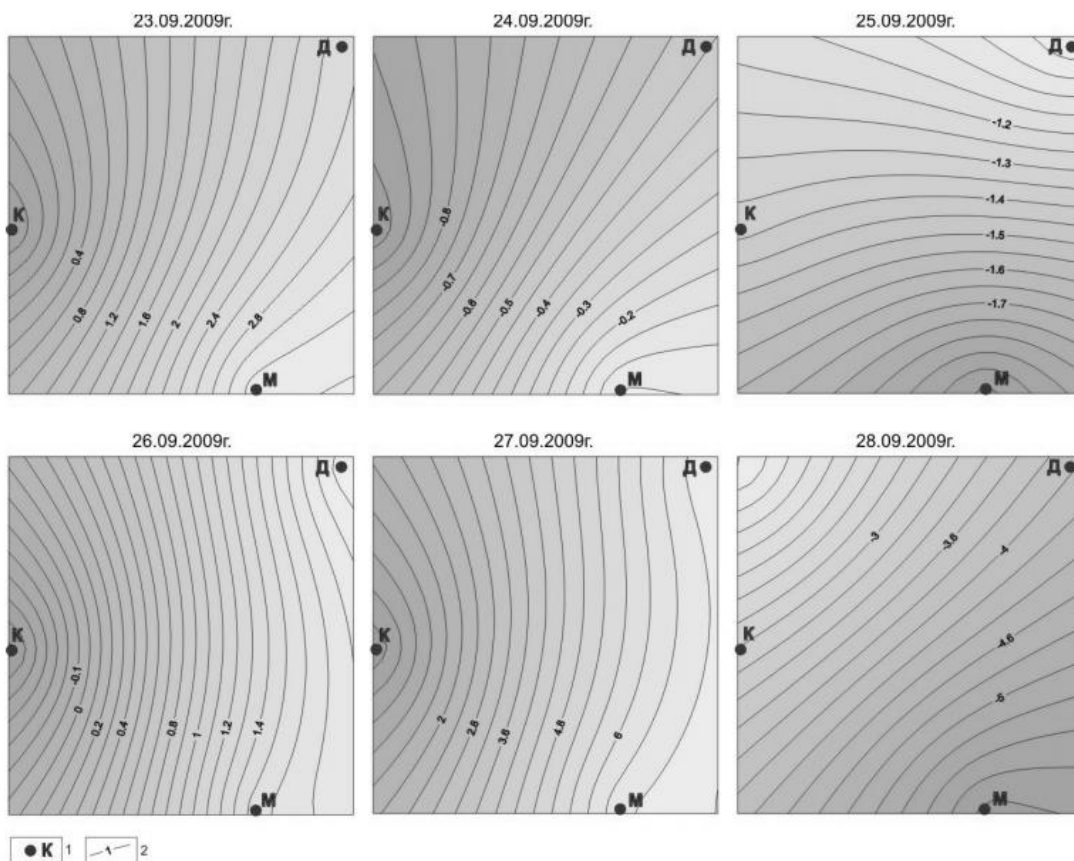


Рис. 4. Карты псевдорегиональных поверхностей ежесуточного состояния уровня подземных вод с 23 по 28 сентября 2009 г. 1 – пункты наблюдений: К – Кривой Рог, Д – Днепропетровск, М – Михайловка; 2 – изолинии изменения псевдоповерхности воды (мм)

**Сейсмичность юго-восточной части УЩ.** Как изображено на рис. 1 наибольшее количество землетрясений тяготеет к ККШЗ, ОПШЗ и зоне Южного краевого

разлома Днепровского грабена. В пределах ККШЗ на протяжении последнего десятилетия было зарегистрировано ряд землетрясений [1] с  $M$  большинства из них, не превышающей 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.

Очаг землетрясения, которое произошло 9.12.2000 г. (12 ч 20 мин,  $M = 3,9$ ) в районе Кривого Рога, расположен в верхней части земной коры на глубине 10 км. В каталоге ISC приводится три варианта расположения его эпицентра; координаты по широте различаются на  $0,3^\circ$ , по долготе – на  $0,1-0,2^\circ$  (рис. 1).

Землетрясение 25.12.2007 г. в 04ч 09 мин зарегистрировано станциями Института геофизики НАН Украины. По макросейсмическим данным сила сотрясений в эпицентре ими оценена в 3,9 балла.

Землетрясение в районе Кривого Рога 14 января 2011 г., по результатам обработки различных оперативных служб, произошло в 07 ч 03 мин. По данным Института геофизики НАНУ он не глубокий, потому что волновая картина выражена нечетко, что значительно затрудняет его интерпретацию. Подземные толчки в г. Кривой Рог особенно ощущали жители последних этажей многоэтажных домов в районе пл. Артема, Вечернего бульвара и жилых массивов Юбилейный и Восточный. 18 января при осмотре состояния земной поверхности после произошедшего сейсмического события было установлено, что на территории Центрального ГОКа образовалась воронка размерами  $50 \times 70$  и глубиной 20 м, отстоящая от образованной в 1985 г ( $250 \times 220$  м,  $H = 100$  м) на 200 м.

На рис. 1 показаны эпицентры, а также обозначена эпицентральная область с учетом координат, приведенных в разных каталогах; она находится в районе Криворожско-Кременчугской зоны разломов. В каталогах (в Интернете) приведены различные данные о глубине очагов этих землетрясений: 0 км (ISC); 30,0 км (EMSC-CSEM); 4,99 км (IRIS); 44 км (NEIC) – варианты в разный период времени. Разброс значений определения координаты расположения эпицентра связан с большим удалением сейсмических станций, регистрирующих эти события, их использование позволяет делать только приближенную оценку глубины очага.

Кроме того, глобальная деформационная тектоническая процедура в настоящее время откликается своей активизацией практически в любой точке земного шара. Таким образом, совпадение достаточно критических по объему и длительности техногенных производств, в карьерах и шахтах Кривого Рога с современной активизацией глобальной сейсмотектонической активности могут стимулировать появление местных землетрясений.

Кроме группы землетрясений в ККШЗ, специалистами Воронежской сейсмологической лаборатории Геофизической службы РАН отмечена повышенная сейсмическая активность северной части ОПШЗ. Вблизи г. Павлоград были зафиксированы три сейсмических события (рис. 4). Согласно их данным, землетрясения с  $M$  около 3 баллов 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 [2, 3]. Сейсмическая активность Южного краевого разлома Днепровского грабена подтверждается и наличием событий с разной  $M$  на всем его протяжении (рис. 1).

**Выводы.** Наши исследования подтверждают ранее полученные результаты для сейсмоактивных областей, что учет современного геодинамического фактора, полученного на базе гидрогеодеформационных наблюдений, должен быть включен как обязательный определяемый параметр не только на стадии изысканий, проектирования и эксплуатации инженерных сооружений, но и для познания современных геодинамических процессов, происходящих в литосфере. Это означает, что с целью оценки геодинамического влияния и разработки предложений для прогноза возможных

социальноэкономических и экологических потерь, промышленной безопасности любых крупных гидротехнических объектов, расположенных в зоне опасных разломов, необходимо данные проводимого мониторинга объединить в единый геоинформационный массив (ГИС-базу) для Украины и прилегающих территорий России, как зон экологогеологического риска. Результаты сейсмической обработки землетрясений, которые за последнее десятилетие произошли в пределах Днепропетровской области и ее окрестностях, показывают, что платформенная часть территории Украины стала более сейсмоактивной. Прежде всего они участились в местах активной добычи и переработки полезных ископаемых.

Вблизи Криворожского бассейна, где на протяжении более века ведутся подземные и наземные работы, нет постоянно действующей сейсмологической сети наблюдений. Непосредственно на территории Кривого Рога жители отмечают подземные толчки (по разным оценкам) до 5 раз в год. И хотя они не превышают 3 баллов, природа их возникновения требует детального изучения.

Поэтому в сложившихся горно-геологических условиях оборудование пунктов наблюдения за сейсмической активностью этого крупнейшего горнодобывающего центра страны является актуальной задачей обеспечения эколого- и жизнебезопасной направленности.

1. *Кутас В.В., Омельченко В.Д., Дрогицкая Г.М., Калитова И.А.* Криворожское землетрясение 25 декабря 2007 г. // Геофиз. журн. – 2008. – Т. 31, №1.
2. *Пигулевский П.И.* К вопросу о сейсмической активности юго-восточной части Украинского щита // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. пр. / Ін-т геотехнічної механіки НАН України. 2000. – Вип. 17.
3. *Пигулевский П.И., Козарь Н.А., Тяпкин О.К.* К вопросу геологогеофизического изучения сейсмической активности юго-востока Украинского щита // Науковий вісник НГА України. – 2000. – №6.
4. *Пигулевский П.И., Свистун В.К., Толкунов А.П.* Использование данных мониторинга гидродеформационных характеристик подземных вод для прогнозирования тектонических процессов в массивах горных пород // Науч. тр. УкрНИМИ НАН Украины. Вып. 5 (ч. 2) / Под ред. А.В. Анциферова. – Донецк, 2009.
5. *Пигулевский П.И., Свистун В.К., Чуприна И.С.* Первые результаты мониторинга за режимом подземных вод в Днепропетровской области // Материалы Пятой Междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы природопользования, постоянного развития и техногенной безопасности регионов». ИППЭ НАН Украины. – Днепропетровск, 2009.

ДГП «Дніпрогеофізика»  
Дніпропетровськ

Стаття надійшла:  
25 августа 2011