

КРИВОРОЖСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 14 ЯНВАРЯ 2011 ГОДА КАК ЛОКАЛЬНОЕ СЛЕДСТВИЕ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ И ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

В работе представлены результаты проведённого анализа записей зарегистрированного сейсмического события, произошедшего 14.01.2011 г. в г. Кривой Рог, и аргументы в пользу определения его как землетрясения. Приведены также результаты наблюдений за изменениями давления и температуры подземных вод на территории Днепропетровской и Криворожской областей, которые могут использоваться не только для инженерных исследований, выполняемых на стадии изысканий, строительства и эксплуатации техногенно опасных сооружений, но и для более полного понимания современных геодинамических процессов в литосфере, знание которых необходимо для прогнозирования землетрясений. Взаимодополняющее использование данных сейсмологических и связанных с ними других геофизических наблюдений поможет разработать систему предупреждения о существенном изменении напряжённо-деформированного состояния земной коры, которое может привести к опасному землетрясению. Рекомендуются создавать такие системы в тектонически активных районах для повышения безопасности проживания населения и получения информации, необходимой для сейсмостойкого проектирования и строительства важных и экологически опасных промышленных объектов.

Ключевые слова: база данных; геодинамические процессы; гидрогеодинамические параметры подземных вод; землетрясение; прогноз землетрясений; спектральный анализ; техногенная деятельность.

Введение

Активная техногенная деятельность в районе города Кривой Рог происходит уже много лет. Она связана, в основном, с разработкой полезных ископаемых и увеличением количества добывающих шахт. Этот процесс происходит не менее двухсот лет и связан с увеличением площадей, глубин и объёмов подземных выработок. Возникновение огромных по общему объёму пустот в тектонически сложном районе Кривого Рога, даже в условиях стабильного состояния геологической среды, может привести к активизации сейсмотектонических процессов и увеличению сейсмичности. Отметим, что на локальные поля напряжений накладываются напряжения, вызываемые глобальными геодинамическими процессами. Для изучаемого района, в первую очередь, таким фактором является влияние мощного сейсмоактивного пояса планеты, образовавшегося в результате продолжающихся процессов встречного движения Африканской и Евразийской материковых плит.

По данным U.S. Geological Survey (USGS) [Tom J. Chalko, 2008] (см. рис. 1), глобальные деформационные тектонические процессы, циклически изменяющие свою интенсивность, в настоящее время находятся в стадии активизации.

Постановка задачи

Критическое по объёму и длительности техногенное изменение природной геологической среды шахтами Кривого Рога может усиливать процессы изменения напряжённо-деформированного состояния недр, вызванные глобальной сейсмотектонической активностью, что может привести к увеличению числа локальных землетрясений на территории области.

Энергия землетрясений по годам, начиная с 1973 г.



Рис. 1. Активизация сейсмотектонических процессов в глобальном масштабе [Tom J. Chalko, 2008].

14 января 2011 года вблизи Кривого Рога произошло очередное землетрясение. В результате обработки его записей, полученных на сейсмических станциях Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины (ИГФ НАНУ), установлено, что время в очаге было 05 час 03 мин по Гринвичу (07 час 03 мин по местному времени). По макросейсмическим данным, особенно интенсивные подземные толчки ощущали жители последних этажей многоэтажных домов г. Кривой Рог в районе пл. Артёма, Вечернего бульвара и жилых массивов Юбилейный и Восточный.

Обзор местной сейсмичности

На протяжении почти 200 лет в Криворожском бассейне ведётся подземная и наземная добыча, но нет постоянно действующей сейсмической сети. Непосредственно на территории города Кривой Рог жители отмечают подземные толчки до 5 раз в год. И хотя они не превышают 3 баллов, природа их возникновения требует детального изучения. Эпицентр Криворожского землетрясения 14 января 2011 года ($\varphi=48.054$, $\lambda=33.564$, $H=4.99$ км) расположен в районе, где 25 декабря 2007 года в 04:09 уже было зарегистрировано ощутимое землетрясение ($\varphi=47.9$, $\lambda=33.5$, $H=10$ км). Также известно и о землетрясении из этого района 09 декабря 2000 года (12:20), интенсивность которого составляла $I_{\max}=2$ балла.

Перечисленные выше сейсмические события зафиксированы в Терновском районе Кривого Рога вблизи карьера массовых взрывов, координаты которого: $\varphi=48.12$, $\lambda=33.55$.

В пределах этой территории находятся два предприятия, специалисты которых выполнили обследование состояния земной поверхности на предмет смещения грунтов непосредственно после произошедшего сейсмического события и несколько дней спустя. Повторное обследование 18 января показало, что в районе образовалась новая воронка размерами 50×70 м и глубиной 20 м, в 200 метрах от воронки, образованной в 1985 году (250×220 м, $H=100$ м).

По данным Криворожского территориального управления Госгорпромнадзора, на двух шахтах Кривого Рога 14 января 2011 года проводились плановые взрывные работы, однако сила взрывов была незначительной и не могла вызвать колебаний наблюдаемой интенсивности. Сейсмические колебания от землетрясения были зафиксированы на станциях Украинской и международной сейсмологических сетей. В таблице приведены оперативные данные о параметрах Криворожского сейсмического события по данным различных сейсмологических центров.

Значения магнитудных оценок зарегистрированного сейсмического события свидетельствуют в пользу его природного тектонического происхождения. Аналогичные эффекты могут быть вызва-

ны только испытательными ядерными, но не промышленными взрывами.

Землетрясение 14 января 2011 года

На рис. 2 приведена запись землетрясения 14 января 2011 года вблизи Кривого Рога, зарегистрированного на сейсмической станции Киев-IRIS, расположенной на границе Киевской и Житомирской областей в городке Макаров-1.

Форма записи землетрясения свидетельствует о том, что его очаг был неглубоким. При таких землетрясениях на Восточно-Европейской платформе наблюдаемая волновая картина, как правило, выражена нечётко, что значительно затрудняет её интерпретацию.

На этой записи видны чёткие вступления первичной волны Р и хорошо выделяется поверхностная волна Lg. Следует обратить внимание, что на практически стандартной записи локального землетрясения плохо выделяется вступление сдвиговой S-волны, наличие которой на записях локальных землетрясений можно обнаружить практически всегда. Из работы [Шаров и др., 2007] известно, что самые большие амплитуды на записях близких событий обычно имеют коровые каналовые волны Lg, а в случае близповерхностных событий – короткопериодная основная мода волн Рэлея Rg. Волна Rg с более длинными периодами, чем у Sg, может быть доминирующей на записи примерно до 300 км в случае сейсмических событий, порождённых близповерхностными взрывами. На записях платформенных событий чаще всего прослеживается именно волна Lg и её ветви. Они наиболее заметны и выделяются даже в тех случаях, когда объёмные волны практически не видны на уровне шумов. Из-за трудности выделения вступления S-волны оценка параметров Криворожского землетрясения проведена только по вступлениям волн Р и Lg.

По моментам появления Р и Lg волн определены такие параметры землетрясения, как эпицентральное расстояние и время в очаге. Они приведены в нижней строке таблицы. В таблице приведено также результаты оперативного определения положения эпицентра Криворожского землетрясения.

Краткий список параметров обработки Криворожского землетрясения 14 января 2011 года по разным станциям

Название станции	Время T_0	Широта φ	Долгота λ	Глубина h , км	Магнитуда		
					mb	ML	M
BUC	05:03:19.5	47.95 N	33.18 E	44.0		4.0	
INFO	05:03:17.0	48.14 N	33.29 E	30.0	3.9		
GSRC	05:03:12.6	48.20 N	33.34 E	5.0	3.9		
LVV	05:03:18.0						4.0
Kiev-IRIS	05:04:21.5	48.054 N	33.564 E	4.99			

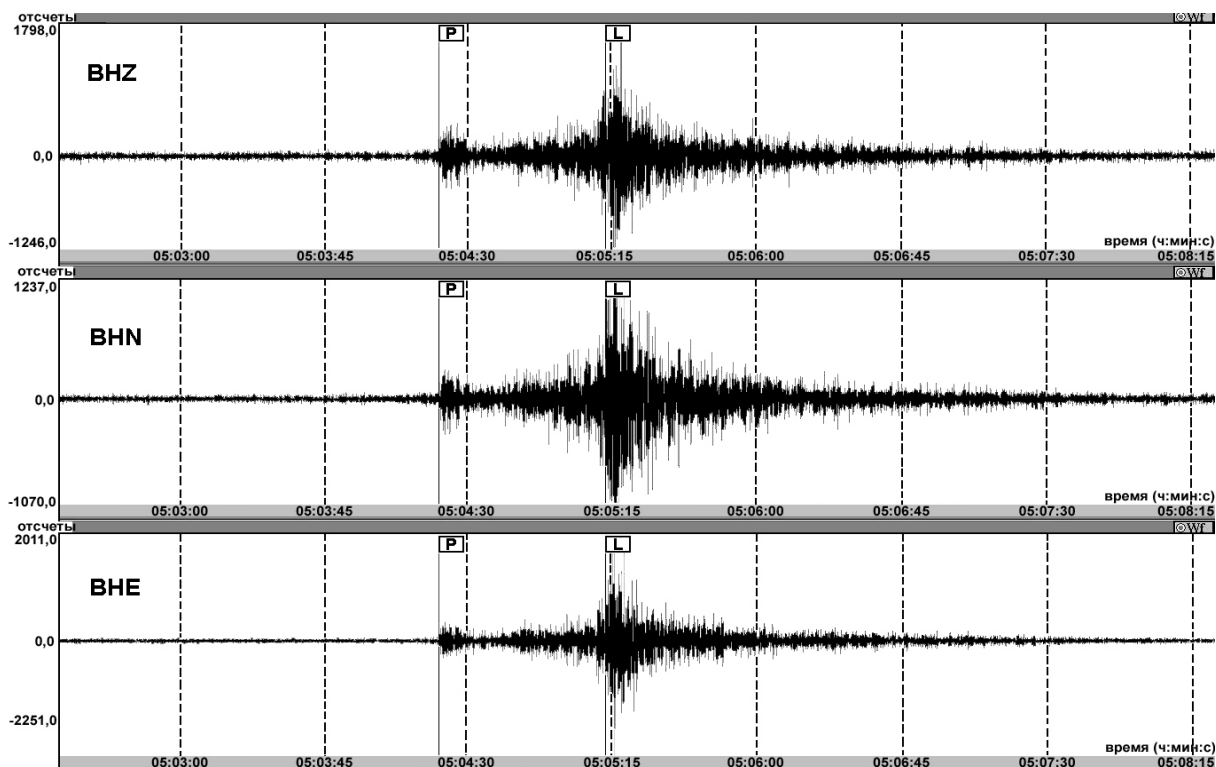


Рис. 2. Трёхкомпонентная запись сейсмического события, произошедшего в городе Кривой Рог 14 января 2011 года

Изучение режима подземных вод в субрегионе

Для выяснения природы землетрясения были привлечены данные наблюдений Днепропетровской геофизической экспедиции “Днепрогеофизика”. Исследования гидрогеодинамических параметров подземных вод на территории Днепропетровской области выполняются с октября 2007 г. Данные являются уникальными, так как региональное изучение термобарического режима подземных вод с целью исследования особенностей эволюции гидрогеодеформационного поля и регистрации аномалий, которые являются предвестниками землетрясений, в асейсмичных регионах Украины системно не проводилось.

Изучение режима подземных вод в Днепропетровской области выполняется в двух пунктах наблюдений: г. Днепропетровск и г. Кривой Рог. Эти пункты оборудованы специальными автономными регистрирующими “интеллектуальными” датчиками (ИД). Датчики установлены непосредственно в скважине № 14431 глубиной 815 метров со статическим уровнем воды 106 метров от дневной поверхности (г. Кривой Рог) и в контрольно-градирочной скважине на производственной базе инженерно-геофизической партии ДГЭ глубиной 85 метров со статическим уровнем воды – 17 м (г. Днепропетровск).

В г. Кривой Рог ИД расположен в зоне влияния Криворожско-Кременчугского глубинного разлома, в г. Днепропетровск (на левом берегу р. Днепр) – в пределах монолитных массивов гранитоидов Сред-

неприднепровского мегаблока. Частота регистрации данных наблюдений с октября 2007 г. до июля 2008 г. была запрограммирована на интервал в 20 минут, а в дальнейшем, по настоящее время, – на интервал 5 минут. Периодически данные измерений через интерфейсный блок считывает компьютер. Имеющиеся программы обработки полученных данных позволили сформировать региональную базу геодинамических и термобарических параметров подземных вод и обеспечивают её статистическую обработку, визуализацию информации в графическом и цифровом виде [Пигулевский и др., 2009, 2010].

Сформированная база данных позволяет получить информацию за любой отрезок времени о зависимости колебаний уровня воды (статического и геодинамического) и температуры в наблюдательных скважинах от изменения напряжённо-деформационного состояния земной коры и атмосферного давления на протяжении более 40 месяцев (с октября 2007 г. по февраль 2011 г.). По гидрогеодинамическим параметрам и их реакции на деформации сжатия и растяжения в верхних слоях Земли хорошо фиксируются не только общие (круглогодичные) и региональные изменения колебаний уровня подземных вод (в зависимости от тектонических движений в земной коре), но и локальные (местные) особенности тектонических процессов. Материалы исследований показывают, что зарегистрированные термобарические изменения параметров воды имеют широкий частотный и амплитудный спектр (рис. 3).

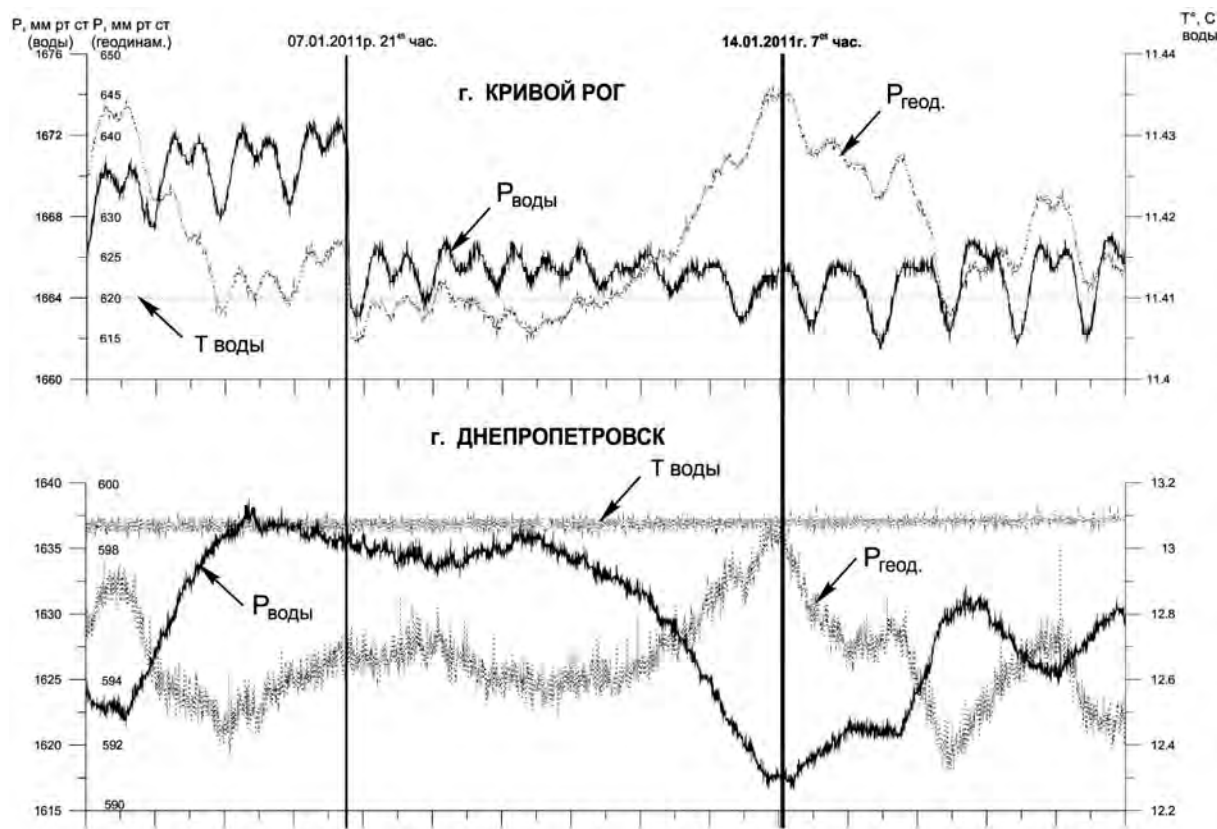


Рис. 3. Графики гидрогеодеформационных наблюдений в период с 04.01.2011 г. по 19.01.2011 г.

Тектоническая позиция очага землетрясения

Из рис. 4 и 5 видно, что очаг землетрясения 14 января 2011 года может быть приурочен к **Криворожско-Кременчугскому разлому**. Этот разлом многие исследователи рассматривают как разлом I ранга. Он отделяет Среднеприднепровский мегаблок как структуру II порядка в Центральноукраинском геоблоке и прослеживается далеко за границы щита. Разлом очень хорошо выражается как в геофизических полях, так и на аэрокосмоснимках. Он является одним из крупнейших по протяжности на щите. Криворожско-Кременчугский разлом на всем своём протяжении по-разному проявляется в поверхности Мохо. Изолинии глубин её залегания преимущественно совпадают с разломом, за исключением центральной части Пятихатской антиформы. К западу от Криворожско-Кременчугского разлома, до его пересечения с Девладовским, отмечается мантийный жёлоб с глубинами погружения до 50 км и более. По зоне разлома поверхность Мохо опущена с 32–35 км, на западе от него, до 52–55 км, на востоке [Кічурчак, Пігулевський, 2005].

Вдоль разлома прослеживаются фрагменты складчатых структур, которые составлены неполными разрезами криворожской серии.

Криворожская тектоническая структура почти на всем её протяжении очень хорошо фиксируется данными магнитотеллурического зондирования (МТЗ) как субвертикальный проводник. Она отделяет более проводящие образования, которые находятся к западу от неё, от высокоомных (до

10000 Ом·м) – на востоке. Анализ карт магнитных полей позволяет говорить о наличии в зоне разлома протяжного субмеридионального проводника в земной коре. Для всех точек МТЗ, которые находятся в зоне разлома, отмечается подобная форма кривых эффективного сопротивления, которые характеризуются расхождением на 1–2 порядка широтной и меридиональной кривых.

Данные метода общей глубинной точки (МОГТ) (сейсмический профиль 02-88 СГТ) показывают его западное падение. Он трассируется через всю кору по смещению отражающих элементов и изменению петрологического состава в низах коры (по данным плотностного моделирования). Его углы падения изменяются от 75–80° возле поверхности фундамента, с резким выполаживанием в низах коры до 45–55°.

На глубине 10 км Криворожско-Кременчугский разлом (рис. 4) смещается на запад в сторону Кировоградского мегаблока на 3–5 км. На срезе 30 км наблюдается смещение (рис. 5) этого разлома на запад в южной и центральной частях на 5–10 км, в северной – на 3–5 км.

Геодинамические процессы в зоне очага

В период с 2008 г. по 2010 г. с помощью температурных наблюдений ИД зафиксировано активизацию Криворожско-Кременчугского глубинного разлома [Пігулевський и др., 2009, 2010], при отсутствии существенных сейсмических событий в этой зоне.

Как видно из рис. 3, геодинамические процессы в массиве докембрийских пород по-разному проявляются в г. Кривой Рог и г. Днепропетровск.

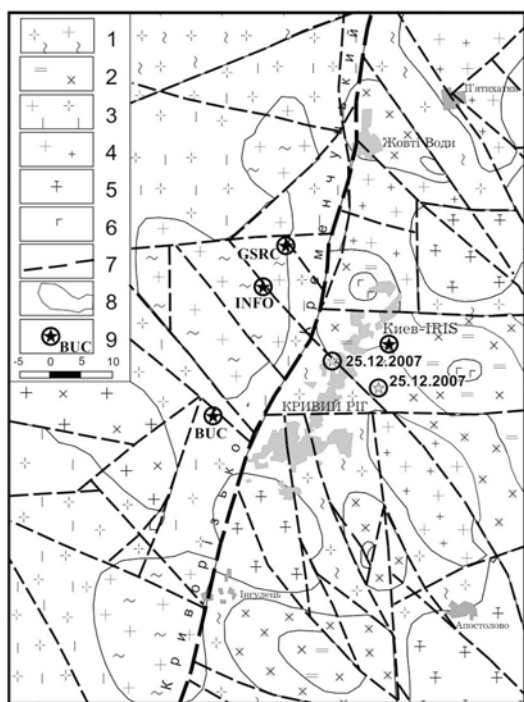


Рис. 4. Стрoение земной коры района г. Кривой Рог на срезе 10 км [Пигулевский и др., 2010]:

1 – граниты и мигматиты биотитовые, амфибол-биотитовые порфиробластические; 2 – диафторированные гранулиты; 3 – плагиограниты и плагиомигматиты, диориты; кварцевые диориты; 4 – аплиты-пегматоидные граниты, граниты биотитовые, амфибол-биотитовые порфиробластические, плагиомигматиты биотитовые, амфибол-биотитовые; 5 – граниты биотитовые порфиробластические, мезо- и меланократовые ортитвещающие; 6 – габбро; 7 – разломы, предполагаемые по МТЗ-данным и результатам моделирования гравитационного поля; 8 – литологические границы; 9 – расположения эпицентров Криворожского землетрясения по данным различных станций (см. таблицу)

В январе 2011 года зарегистрировано тектоническую активизацию района по параметру полного давления воды в скважине № 14431, которая началась 7 января в 21 час 45 минут. В результате уровень воды в скважине за 45 минут упал на 7–8 см, что связано, по всей видимости, с раскрытием сети мелких разломов и повышением трещиноватости в массивах докембрийских пород. При этом подобного явления не отмечается в скважине, расположенной в г. Днепропетровск, что говорит о активизации тектонических процессов именно в районе Криворожско-Кременчугского глубинного разлома за 6 суток и 8 часов до последовавшего землетрясения.

Геодинамический параметр воды (см. рис. 3) в двух наблюдательных скважинах за несколько дней до события 14 января 2011 года начал вести себя поразному. Спустя три дня геодинамический параметр в этих скважинах стал работать синхронно. При этом на графиках видно, что растёт аномалия сжатия в земной коре, которая после землетрясения 14 января пошла на спад. Это означает, что современные

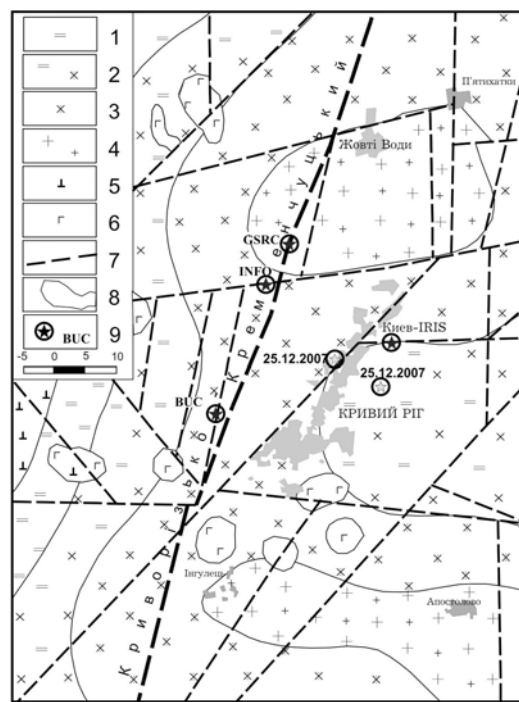


Рис. 5. Стрoение земной коры района г. Кривой Рог на срезе 30 км [Пигулевский и др., 2010]:

1 – гранулиты; 2 – диафторированные гранулиты; 3 – диориты, кварцевые диориты; 4 – граниты; 5 – перидотиты, габбро-перидотиты; 6 – габбро; 7 – разломы, предполагаемые по МТЗ-данным и результатам моделирования гравитационного поля; 8 – литологические границы; 9 – расположения эпицентров Криворожского землетрясения по данным различных станций (см. таблицу)

естественные тектонические процессы могут обуславливать существенные нарушения в монолитности массивов докембрийских пород, активизировать или образовывать сеть мелких разломов и зон повышенной трещиноватости. Как следствие, возникают потенциальные предпосылки для вертикальных и горизонтальных перемещений отдельных блоков, которые могут сопровождаться локальными землетрясениями. Их спусковым механизмом может стать чрезмерная техногенная нагрузка на блоки и зоны трещиноватости, обусловленная выемкой больших объёмов пород, сооружением отвалов, шламохранилищ и прудов-накопителей.

Выводы

В условиях описанного выше тектонического строения и геодинамической активности земной коры в районе Кривого Рога возможна дальнейшая активизация опасных сейсмических процессов. Защищаться от их негативных воздействий должны субъекты хозяйствования, но информацию о параметрах прогнозируемой опасности (от чего следует защищаться) должно предоставить государство. Для получения параметров прогнозируемой опасности необходимо для территории исследуемого района провести комплекс работ по общему и детальному сейсмическому районированию, а для площадок размещения ответственных и экологически опасных сооружений –

таже і роботи по сейсмічному мікрорайонуванню. Основой для ефективного проведення цих работ должна стать сеть сейсмологических и тесно связанных с ними геофизических наблюдений.

Полученные результаты наблюдений могут использоваться не только для прогноза землетрясений и инженерных исследований (выполняющихся как на стадии изысканий, но и на стадии строительства и эксплуатации техногенно небезопасных сооружений), но и для более полного понимания современных геодинамических процессов, происходящих в литосфере.

Необходимо также учитывать возможное негативное воздействие небольших, но часто повторяющихся геодинамических явлений на техническое состояние больших гидротехнических сооружений из-за эффекта “усталости” конструкций. В результате может возникнуть угроза техногенных аварий, а также подтопления жилых массивов г. Кривой Рог и близлежащих населённых пунктов.

Литература

Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской

платформы / под ред. Н.В. Шарова, А.А. Маловичко, Ю.К. Щукина. Кн. 1: Землетрясения. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 381 с.

Кічурчак В.М., Пігулевський П.Г. Деякі особливості металогенії Середньопридніпровського мегаблоку Українського щита та її зв'язок з будовою земної кори // Науковий вісник НГАУ. – 2005. – № 6. – С. 88–93.

Пігулевський П.И., Свистун В.К., Толкунов А.П. Використання даних моніторингу гідрогеодеформаційних характеристик підземних вод для прогнозування тектонічних процесів в масивах гірських порід // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – 2009. – № 5 (ч. 2). – С. 122–131.

Пігулевський П.И., Свистун В.К., Толкунов А.П. О современной активизации Криворожско-Кременчугского разлома Украинского щита / Материалы Всероссийской конференции “Дегазация Земли”, Москва, 18–22 октября 2010 г. – Москва. – 2010.

Tom J. Chalko. Earthquake Energy Rise on the Earth. NU Journal of Discovery, May, 2008.

<http://nujournal.net/EarthquakeEnergyRise.pdf>

КРИВОРІЗЬКИЙ ЗЕМЛЕТРУС 14 СІЧНЯ 2011 РОКУ ЯК ЛОКАЛЬНИЙ НАСЛІДОК СЕЙМОТЕКТОНІЧНИХ І ТЕХНОГЕННИХ ПРОЦЕСІВ

О.В. Кендзера, П.І. Пігулевський, С.В. Щербина, В.К. Свистун, І.Ю. Гурова, Ю.В. Лісовий

Подано результати проведеного аналізу записів зареєстрованої сейсмічної події, що відбулась 14.01.2011 р. у м. Кривий Ріг, та аргументи на користь визначення цієї події як землетрусу. Наведено також результати спостережень за зміною тиску і температури підземних вод на території Дніпропетровської та Криворізької областей, які можуть використовуватися не тільки для інженерних досліджень, що виконуються на стадії вишукувань, будівництва та експлуатації техногенно небезпечних споруд, але і для повнішого розуміння сучасних геодинамічних процесів у літосфері, знання яких необхідне для прогнозу землетрусів. Взаємодоповнювальне використання даних сейсмологічних і пов'язаних з ними геофізичних спостережень може допомогти розробити систему попередження про суттєву зміну напружено-деформованого стану земної кори, яке може призвести до небезпечного землетрусу. Рекомендується створювати такі системи в тектонічно активних районах для підвищення безпеки проживання населення і отримання інформації, необхідної для сейсмостійкого проектування і будівництва важливих і екологічно небезпечних промислових об'єктів.

Ключові слова: база даних; геодинамічні процеси; гідрогеодинамічні параметри підземних вод; землетрус; прогноз землетрусів; спектральний аналіз; техногенна діяльність.

THE EARTHQUAKE IN KRYVYI RIG 14-01-2011 AS A LOCAL RESULT OF SEISMOTECTONIC AND MAN-CAUSED PROCESSES

A.V. Kendzera, P.I. Pigulevskiy, S.V. Scherbina, V.K. Svistun, I.Yu. Gurova, Yu.V. Lisoviy

In the paper the results of the conducted analysis of records of the registered seismic event which was take place 2011.01.14 in Kryvyi Rig and arguments in favour of determine this event as earthquake are presented. The results of supervisions for change of pressure and temperatures of groundwater on territory of Dnepropetrovsky and Krivorizhsky regions which can be used not only for engineering researches that conduct on the stage of investigation, building and exploitation of man-caused dangerous constructions, but also for more total understanding of modern geodynamic processes in lithosphere, knowledge of which is needed for forecast of earthquakes are present also. Complementary use of seismological data and related with them geophysical supervisions can help to develop of the warning system about major modification of the tensely-deformed state of the earth's crust, which can result in a dangerous earthquake. It is recommended to create such systems in tectonic-active regions for the increase of safety residence of population and for receipt of information that is necessary for the antiseismic projecting and building of important and ecologically dangerous industrial objects.

Key words: database; geodynamic processes; hydro-geodynamic parameters of groundwater; earthquake; earthquake prediction; spectral analysis; man-caused activities.

¹Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, м. Київ,
²Дніпропетровська геофізична експедиція “Дніпрогеофізика”
ГПП “Укргеофізика”, м. Дніпропетровськ