

## Локальные землетрясения на Украинском щите

© Ю. А. Андрущенко<sup>1</sup>, В. В. Кутас<sup>2</sup>, А. В. Кендзера<sup>2</sup>,  
В. Д. Омельченко<sup>2</sup>, И. А. Калитова<sup>2</sup>, 2013

<sup>1</sup>Главный центр специального контроля ГКА Украины, Макаров-1, Украина

<sup>2</sup>Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 22 июля 2013 г.

Представлено членом редколлегии В. П. Коболевым

Наведено дані стосовно локальних землетрусів з магнітудою 2,0—4,5 у західній та центральній частинах Українського щита в 2005—2013 рр. Проаналізовано природу виникнення землетрусів з магнітудою 3,5—4,5 у межах Криворізької залізорудної структури. Подано інформацію про кількість промислових вибухів, виконаних у кар'єрах і шахтах у 2011—2012 рр. та їхню магнітуду.

The data on local earthquakes with 2,0—4,5 magnitudes in the western and central part of the Ukrainian Shield in 2005—2013 have been presented. The nature of appearance of the earthquakes with magnitude 3,5—4,5 within the Krivoy Rog iron ore structure has been analyzed. Information of the number and magnitude of industrial explosions performed in the open pits and mines in 2011—2012 has been given.

**Введение.** На платформенных территориях известны сейсмические проявления разного энергетического уровня — изредка сильных и очень редко катастрофических. Данные о слабых землетрясениях, происходивших на протяжении многих столетий на Восточно-Европейской платформе (ВЕП), и результаты инструментальных сейсмических наблюдений представлены в книге [Землетрясения..., 2007].

В последнее десятилетие отмечено проявление локальной сейсмичности в западной части ВЕП в пределах Украинского щита (УЩ). В 2005—2012 гг. цифровой аппаратурой зарегистрированы сейсмические события, магнитуда ( $mb$ ) которых при нескольких наиболее сильных событиях превысила значение 3,5. Расположение на УЩ многочисленных населенных пунктов, крупных промышленных экологически опасных и других объектов, а также месторождений различных руд приводит к необходимости изучения уровня локальных сейсмических проявлений.

Сейсмические сигналы, источники которых находятся на ВЕП, регистрируются станциями Крыма, Карпатской опытно-методической сейсмической партии (ОМСП) Института геофизики НАН Украины и Главного центра специального контроля (ГЦСК) Государственного космического агентства Украины (ГКАУ). Данные об аппаратурном оснащении и располо-

жении станций Института геофизики и ГЦСК приведены в работах [Сейсмологический ..., 2007—2012; Андрущенко и др., 2010, 2011].

В 2005—2011 гг. в пределах УЩ зарегистрировано 13 местных землетрясений ( $mb \geq 2,0$ ), эпицентры 9 из них находятся в юго-западной и 1 — в северо-западной частях щита ( $mb = 2,0—2,9$ ). Три наиболее сильных землетрясения произошли в центральной части щита ( $mb = 3,3 \div 4,5$ ). В этот период произведены десятки тысяч промышленных взрывов разной мощности, в частности в 2011—2012 гг. около 3000 с  $mb \geq 0,5$ , из них более 1300 с  $mb = 1,5 \div 3,9$ . Данные о параметрах землетрясений и взрывов, зарегистрированных станциями УСГ, взяты из «Каталога местных сейсмических событий, зарегистрированных сейсмологической сетью станций Главного центра специального контроля ГКАУ с 2005 по 2012 год» (ниже по тексту — Каталог ГЦСК).

Установление природы сейсмических сигналов — их связи с современными тектоническими процессами или промышленными взрывами, произведенными в разных районах щита, основано на использовании спектрально-временного анализа сейсмических колебаний [Андрущенко, 2006; Андрущенко, Гордієнко, 2009]. Результаты оценки происхождения сейсмических событий на УЩ по записям и спектрограммам приведены в работах [Андрущенко и др., 2010—2012].

Цель настоящей статьи — анализ данных о землетрясениях на УЩ, эпицентры которых установлены по материалам инструментальных наблюдений; рассмотрение масштаба проведенных в последние годы горных работ с применением взрывов при разработке месторождений руд и в гранитных карьерах; оценка влияния мощных промышленных взрывов на проявление сейсмичности в зонах тектонических нарушений.

**Сейсмические события на УЩ. Землетрясения.** Данные о возникновении локальных сейсмических событий с  $mb = 3,0 \div 3,9$ , эпицентры которых находятся в западной части ВЕП, в том числе в трех районах УЩ, представлены в международных каталогах (ISC, IDC, EMSC, NEIC, IRIS и др.). Однако в приведенных значениях времени начала процесса в очаге и в координатах эпицентров существуют различия. Расхождения в каталогах параметров сейсмических событий низкого энергетического уровня отмечены и среди зарегистрированных событий в других районах платформы, в частности в Днепровско-Донецком авлакогене.

Несовпадения в координатах эпицентров, рассчитанных по данным различных сетей станций, установлены при рассмотрении местных событий и объясняются в основном неоднозначностью в определении типа сейсмических волн, зарегистрированных на больших расстояниях от очагов излучений. Кроме того, погрешности в координатах могут также возникать в связи с использованием записей станций, расположенных в узких азимутальных створах.

Информация о проявлении местной сейсмичности в юго-западной части УЩ по данным инструментальных наблюдений приведена в работах [Костюк и др., 1987, 1992]. Отмечено, что в исторических и литературных источниках нет упоминаний о землетрясениях, ранее происходивших в этом районе; возникновение очагов землетрясений предположительно связано со строительством плотины для Новоднестровской ГЭС и заполнением котловины водой. При первом землетрясении (24.02.1984 г. в 23 ч 40 мин) и последующем (29.02.1984 г. в 12 ч 51 мин) интенсивность сотрясений в районе эпицентров соответствовала 5 баллам по шкале MSK-64, магнитуда — 3,8 и 3,6; в промежутке времени между ними зарегистрировано три толчка с магнитудой 2,9—3,2. Эпицентры землетрясений находятся на расстоянии 15—20 км восточнее плотины.

Эпицентры следующих землетрясений с магнитудой 3,1 и 3,4 (2.12.1987 г. в 7 ч 13 мин и

14.11.1989 г. в 2 ч 28 мин) расположены на расстоянии 10 км от ГЭС. Интенсивность сотрясений в эпицентре землетрясения 14.11.1989 г. 4—5 баллов. Магнитуда последующих землетрясений, зарегистрированных в 1991 г. и одного в 2000 г., 2,1—2,7. Данные о землетрясениях, произошедших в этом районе, приведены в каталоге [Костюк та ін., 1997]. Расположение эпицентров землетрясений 1984—2000 гг. показано на карте, представленной в работе [Кендзера, 2007].

С развитием сети цифровых сейсмических станций (с/ст.) на ВЕП появились сведения о регистрации в пунктах наблюдений Карпатской ОМСП сейсмических событий в западной части УЩ [Сейсмологический..., 2007—2012]. В связи с тем, что на щите производится большое количество промышленных взрывов, возникла необходимость в анализе природы сейсмических событий: на первом этапе — на примерах взрывов в гранитных карьерах в 2005—2007 гг., в дальнейшем — взрывов в шахтах. Используются записи и спектрограммы сейсмических событий, зарегистрированных цифровой аппаратурой станций УСГ, расположенной в коренных породах в шахте (на глубине 37 м) и скважинах в 4 пунктах наблюдений в Житомирской обл. В результате выделены землетрясения с  $mb \geq 2,0$ , эпицентры которых расположены в двух районах западной части УЩ, и наиболее сильных с  $mb = 3,5 \div 4,5$  — в центре щита.

Землетрясения на юго-западном крае УЩ произошли 18.10.2005 г. ( $mb = 2,0$ ;  $h = 6$  км), 22.10.2006 г. ( $mb = 2,4$ ;  $h = 4$  км), 9.06.2007 г. ( $mb = 2,2$ ;  $h = 6$  км), 18.11.2007 г. ( $mb = 2,7$ ;  $h = 3$  км), 23.04.2009 г. ( $mb = 2,1$ ;  $h = 3,4$  км), 12.07.2009 г. ( $mb = 2,6$ ;  $h = 4,4$  км), 13.07.2009 г. ( $mb = 2,1$ ;  $h = 4,3$  км), 12.08.2010 г. ( $mb = 2,6$ ;  $h = 3$  км) и 14.01.2011 г. ( $mb = 2,4$ ;  $h = 6$  км). Эпицентры землетрясений находятся на расстоянии 10—20 км по отношению к Новоднестровской ГЭС. С районом возникновения первых землетрясений в 1984 г. (западнее Могилев-Подольского) совпадают эпицентры землетрясений 2007—2009 гг., остальные расположены вблизи Новоднестровска — в зоне проявления сейсмичности в 1987—1989 гг.

В северо-восточной части УЩ 12.03.2006 г. зарегистрировано землетрясение с магнитудой 2,9; очаг излучений находится на глубине 10 км [Сейсмологический..., 2008]. Данные о параметрах землетрясения, особенностях волновой картины, спектрального состава колебаний и строении среды в районе расположения очага представлены в работах [Кендзера и др.,

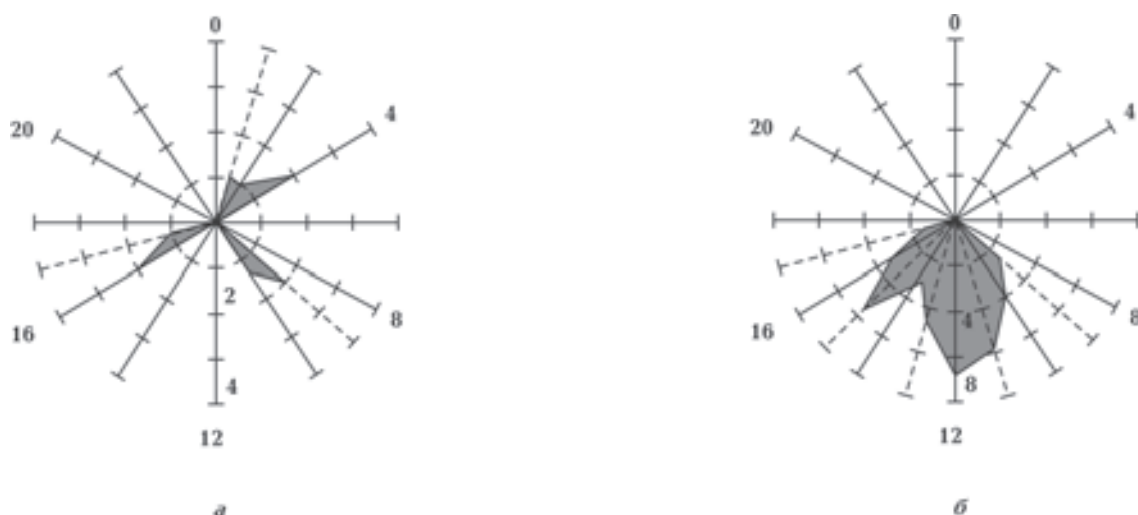


Рис. 1. Распределение по времени суток количества сейсмических событий с  $m_b \geq 2,0$  в западной части УЩ: а — землетрясения (2005—2011); б — взрывы в карьерах (2005—2007).

2007; Кутас и др., 2007; Андрущенко и др., 2010, 2011]. В настоящей статье рассмотрено время возникновения и количество сейсмических событий, произошедших на УЩ в 2005—2012 гг.

На диаграммах показано количество сейсмических событий в течение временного интервала от 30 мин до и 30 мин после значения времени, соответствующего часовому лучу. В западной части УЩ землетрясения с магнитудой 2,0—2,9 произошли в период времени суток 01—17 ч (рис. 1, а). В центральной части УЩ в 2007—2013 гг. в районе г. Кривой Рог зарегистрированы три землетрясения и серия взрывов. Согласно данным сейсмологических центров, магнитуда  $m_b$  при землетрясениях соответствует значениям 3,3—3,9 (25.12.2007 г., 04 ч 09 мин); 3,2—3,9 (14.01.2011 г., 05 ч 03 мин) и 4,5—4,9 (23.06.2013 г., 21 ч 16 мин). В Кривом Роге также произошло землетрясение вследствие обвала породы при взрыве в шахте (13.06.2010 г., 03 ч 58 мин); значение  $m_b$  по данным разных служб 3,4—4,3.

Параметры последнего землетрясения (23.06.2013 г., 21 ч 16 мин) приведены в табл. 1. По расчетам, сделанным по записям станций ГЦСК (АКАSG — обозначение в международных каталогах данных), координаты его эпицентра с точностью до  $0,03$ — $0,04^\circ$  совпали с определениями сейсмической службы Румынии (BUC). По макросейсмическим данным интенсивность сотрясений в эпицентрах криворожских землетрясений соответствовала 4—5 баллам по шкале MSK-64.

Результаты изучения записей землетрясения 25.12.2007 г., спектрограмм, механизма очага, макросейсмического эффекта на поверхности

и анализа особенностей глубинного строения среды в очаговой зоне криворожских землетрясений, а также природы сейсмичности приведены в работах [Кутас и др., 2009, 2013; Пустовитенко и др., 2010, 2011; Скляр и др., 2009, 2012; Свидлова, Бондарь, 2011; Бондарь, 2012; Андрущенко и др., 2012; Кендзера и др., 2012].

**Взрывы.** Объем горных работ на УЩ в определенной мере характеризуется количеством взрывов, произведенных в карьерах и шахтах в последние годы. Станциями ГЦСК в 2011—2012 гг. зарегистрировано 1392 взрыва с магнитудой 1,5—3,9. Информация о взрывах представлена в табл. 2—4.

В западной части УЩ в 2005—2007 гг. взрывы в гранитных карьерах производились в 8—16 ч (рис. 1, б),  $m_b$  самых мощных не превысила значения 2,5. Распределение по времени суток взрывов в карьерах в 2011—2012 гг. показано на диаграмме (рис. 2, а). Основное количество взрывов отмечено в 8—15 ч; значение магнитуды наиболее мощного из них равно 3,5.

В настоящее время нет экспериментальных данных об уровне изменения напряжения на участках земной коры, нарушенных разломами, при массовых взрывах в карьерах и, как следствие, о вероятности возникновения местных землетрясений. Однако опубликованная информация свидетельствует о влиянии промышленных взрывов на возникновение локальной сейсмичности в некоторых районах. В связи с тем, что в пределах западной части ВЕП находятся крупные промышленные объекты и производятся взрывные работы, представляется необходимым дальнейшее накопление фактического материала в этом направлении.

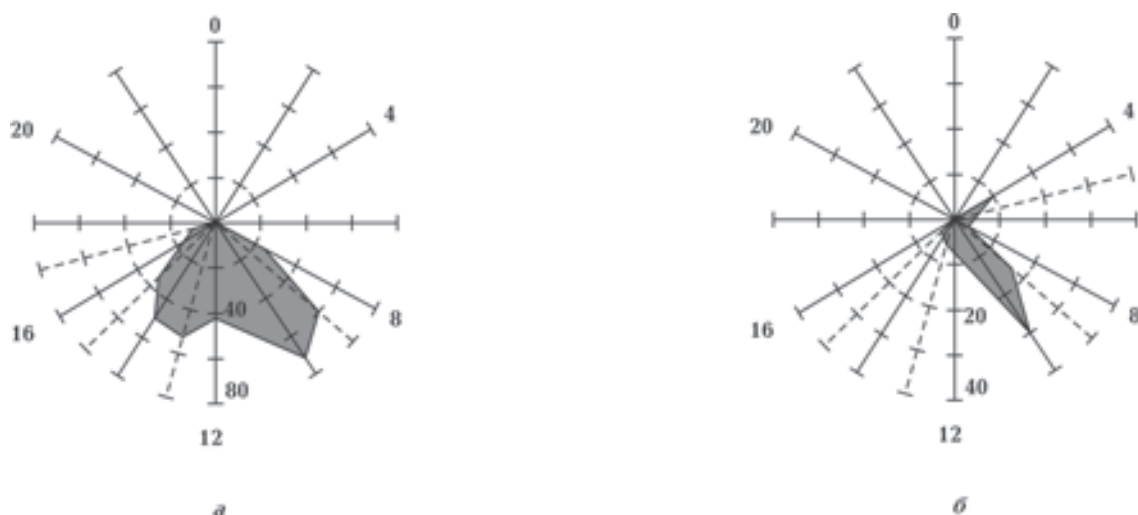


Рис. 2. Распределение по времени суток количества промышленных взрывов с  $mb \geq 2,0$  (2011, 2012) в карьерах и шахтах в пределах блоков УЩ (см. нумерацию и название блоков в табл. 3): а — № 1–6; б — № 7, 8.

Районы атомных станций Ривненской (РАЭС) и Хмельницкой (ХАЭС) находятся в пределах Подольской плиты, западной части УЩ и частично Припятского прогиба, где в карьерах также выполняются работы с применением мощных взрывов; магнитуда некоторых из них превышает значение 3,0.

По результатам ранее проведенных инструментальных сейсмических исследований установлено, что в районах расположения площадок РАЭС и ХАЭС могут произойти землетрясения, вызванные как тектоническими процессами, происходящими на большом расстоянии от них в Карпатах, так и в зонах местных разломов.

Интенсивность сейсмических сотрясений при проектном землетрясении (ПЗ) равна 5 баллам по шкале MSK-64, при максимальном расчетном землетрясении (МРЗ) — 6 баллам [Кендзера и др., 2003].

До настоящего времени в районах расположения атомных станций не обнаружено сведений о макросейсмическом проявлении местной сейсмичности и нет сведений о слабых землетрясениях по данным инструментальных наблюдений.

Вблизи ХАЭС край УЩ пересекается Хмельницкой зоной глубинных разломов; ее протяженность 350 км, ширина 8 км [Гинтов, 2004]. Этот участок земной коры с учетом особенностей тектоники и строения литосферы, установленных по данным сейсмических работ, проведенных методом ГСЗ, рассматривается как потенциально сейсмоопасный [Кутас и др., 2006]. Необходимо контролировать расстояние расположения карьеров, в которых планирует-

ся проведение работ, относительно площадок атомных станций, а также количество, частоту проведения и мощность взрывов. В карьерах Ривненской обл. в пределах западного края щита в 2011—2012 гг. произведено более 100 взрывов с  $mb \geq 2,0$ , в Хмельницкой обл. — около 60 при трех наиболее мощных взрывах  $mb \geq 3,0$ .

В центральной части УЩ при наиболее мощных взрывах в кировоградских и днепропетровских карьерах  $mb$  равно 2,5—3,0, период времени проведения взрывов 8—14 ч. При взрывах в шахтах максимальные магнитуды отмечены в полосе значений 3,6—3,9, использованы заряды, эквивалент которых соответствует 50—125 т взрывчатого вещества (ВВ); интервал глубины заложения зарядов 450—1300 м. Взрывы в 2011 г. произведены в 4—5 и 10—11 ч, в 2012 г. — в 4—5 ч (рис. 2, б).

В материалах сейсмологических центров представлена информация о сейсмических событиях с магнитудой не менее 3,0, зарегистрированных в различных районах ВЕП, в частности на УЩ. В каталогах ISC, IRIS за 1996, 1997 гг. приведены данные о сейсмических проявлениях с  $mb = 3,3 \div 3,5$  в западной части щита. По-видимому, это промышленные взрывы, так как время в источниках (10 ч 15 мин — 16 ч 25 мин) соответствует интервалу времени суток, в котором зарегистрированы взрывы в карьерах в этом районе. Данные, приведенные в разных каталогах, о сейсмических событиях с  $mb = 3,3 \div 3,9$ , произошедших 1996—2006 гг. в центральной части щита, по всей вероятности, также относятся к промышленным взрывам, так как  $t_0$  аналогично времени проведения взрывов 2011—2012 гг.

### Расположение очагов землетрясений и зоны тектонических нарушений земной коры.

Земная кора УЩ имеет блоковое строение, очаги новоднестровских землетрясений находятся на окраине Винницкого блока в районе сочленения щита с Днестровским прогибом. В соответствии с зонами разломов, показанными на карте УЩ, и его склонов [Гинтов, 2004], эпицентры землетрясений расположены вблизи пересечения Подольской и Немировской зон разломов; их протяженность 210 и 285 км; ширина 12 и 13 км соответственно.

Эпицентр землетрясения 12.03.2006 г. находится в пределах Коростенского блока УЩ на границе выхода на поверхность кристаллических пород плутона — вблизи Сарненско-Варваровской зоны разломов, ее длина 260 км, ширина 10 км [Гинтов, 2004]. При изучении сейсмическими методами строения западной части щита отмечено возрастание мощности литосферы по направлению к его центру — с северо-востока от 50—60 км и с юго-запада от 90—100 км до 180—200 км в центре [Копничев, Павлова, 1990]. Можно предположить, что при таком резком изменении мощности литосферы (в среднем на 1,6 км на расстоянии 1 км) в зонах нарушений земной коры возникают дополнительные напряжения вблизи разломов земной коры разного ранга [Карта..., 1988].

На разрезе литосферы вдоль профиля Евробридж-97 в районе Коростенского плутона выявлены резкие изменения физических свойств пород в интервале глубин 0—11 км [Thybo et al., 2003]. На одном из участков профиля отмечена интрузия повышенной плотности, вертикальная граница которой совпадает с расположением одного из разломов; в зоне контакта вертикальных и горизонтальных неоднородностей среды находится очаг землетрясения 12.03.2006 г. [Кутас и др., 2007]. Эпицентры криворожских землетрясений 2007—2013 гг. расположены на границе Ингульского и Среднеприднепровского мегаблоков в восточной части Ингулецко-Криворожской шовной зоны в районе Криворожско-Кременчугского глубинного разлома. Согласно результатам работ, проведенных сейсмическими методами, мощность земной коры в пределах шовной зоны резко возрастает от 38 до 53 км [Литосфера, 1988].

В Криворожско-Кременчугской зоне разломов в период 1972—1986 гг. отмечена смена знака современных вертикальных движений земной коры. По геолого-геоморфологическим данным в этой зоне разломов установлены сдвиговые деформации, на основании чего

высказаны предположения о состоянии повышенной тектонической напряженности [Палієнко та ін., 2004]. При бурении Криворожской сверхглубокой скважины СГ-8 выделены участки повышенного напряженного состояния различных размеров и зоны разгрузки напряжений [Криворожская..., 2011].

### Особенности записей и спектрограмм землетрясений и взрывов в районе Кривого Рога.

По данным о массовых промышленных взрывах, произведенных на горнодобывающих предприятиях Кривого Рога, сейсмические события, зарегистрированные станциями ГЦСК, были привязаны к определенным карьерам и шахтам. Выделены особенности сейсмических записей.

**Взрывы в карьерах.** Обнаружены различия в форме записи и спектрально-временных характеристиках взрывов в карьерах, расположенных на территории Кировоградской и Днепропетровской областей, которые, по видимому, обусловлены особенностями строения среды в местах подрыва и на пути распространения сейсмических волн от источников к пунктам регистрации.

При сравнении взрывов в карьерах ОАО «Ингулецкий ГОК» и Первомайском ОАО «Северный ГОК» при использовании зарядов массой в 900—1000 т ВВ отмечено подобие формы записи и спектрограмм. Спектр в интервале записи группы  $P$ -волн находится в полосе частот 6—12 Гц, группы  $S$ -волн — в диапазоне частот до 15 Гц; при этом не наблюдаются максимумы спектральной плотности. Максимум энергии сигнала сконцентрирован в группе поверхностных волн; ярко выраженный максимум спектральной плотности отмечен в интервале записи  $L_R$ -волны в полосе частот до 1 Гц. На записях взрывов со значительно меньшей массой заряда  $P$ -волну практически невозможно выделить на фоне помех, четко выделяется только цуг поверхностных волн. В то же время видны некоторые различия при сравнении формы записи и спектрограмм взрывов, произведенных в других карьерах.

### Взрывы в шахтах в районе Кривого Рога.

Сейсмические события с  $mb = 3,0$ , зарегистрированные станциями ГЦСК 31.03.2012 г. (04 ч 00 мин), 17.06.2012 г. (04 ч 03 мин) и 22.12.2012 г. (05 ч 15 мин), соответствуют взрывам (рис. 3, табл. 4). Два первых произведены в шахте «Гвардейская» (глубина 1200—1270 м, масса заряда 46 т) и шахте им. Ленина (глубина 1270—1300 м, масса заряда 27 т). Сведений о проведении взрыва 22.12.2012 г. на данный момент нет,

как и более мощного взрыва 17.11.2012 г. (05 ч 15 мин), значение магнитуды которого выше, чем остальных, — 3,5.

Согласно анализу спектрально-временных диаграмм, спектр сигналов при взрывах в шахтах находится в полосе частот до 12 Гц. Сейсмические фазы отображены на спектрограммах в виде вертикальных полос. В интервале записи  $Lg$ -волны наблюдается максимум спектральной плотности в полосе частот до 3 Гц. Максимум энергии сигнала также сконцентрирован в группе поверхностных волн, однако  $L_R$ -волна уже не доминирует, как при взрывах в карьерах, что обусловлено, по-видимому, увеличением глубины источника.

**Землетрясения.** Записи сейсмических событий 25.12.2007, 14.01.2011 и 23.06.2013 гг. представлены на рис. 3, а. Предположения об их тектоническом происхождении основаны на проявлении макросейсмического эффекта (до 5 баллов по шкале MSK-64), дальности регистрации (свыше 7500 км) и количестве сейсмических станций мировой сети, зарегистрировавших эти события, — более 70 в случае двух последних.

До настоящего времени нет данных о проведении мощного взрыва 25.12.2007 г. и, кроме того, на записях удаленных станций выделена фаза отраженной от поверхности объемной продольной волны, по времени которой оценена глубина расположения очага —  $16 \pm 4$  км [Кендзера и др., 2012].

Информация о проведении взрыва в момент возникновения сейсмического события 14.01.2011 г. противоречива. Согласно одним данным, в районе эпицентра землетрясения был произведен относительно слабый взрыв в шахте им. Орджоникидзе. Общая масса ВВ небольшая — эквивалентна 4,76 т; такой взрыв не мог привести к наблюдаемому при землетрясении значительному макросейсмическому эффекту — 5 баллов в районе эпицентре. Высказано предположение: взрыв небольшой мощности послужил своеобразным «спусковым механизмом» для возникновения землетрясения, так как эпицентр взрыва находится вне зоны максимальных сотрясений [Бондарь, 2012; Скляр, Князева, 2012]. По другим данным, 14.01.2011 г. (05 ч 03 мин) в интервале глубин 1200—1300 м произведен взрыв в шахте им. Ленина, общая масса заряда 36 т. Координаты шахт им. Орджоникидзе и им. Ленина по широте совпадают ( $48,08^\circ$  N), по долготе почти не различаются ( $33,501$  и  $33,508^\circ$  E). Эпицентр этого взрыва, как и более слабого в другой

шахте, не совпадает с расположением эпицентра землетрясения, установленным по макросейсмическим данным. Источники взрывов, произведенных в обеих шахтах, находятся на расстоянии около 10 км от района 5-балльных сотрясений. Однако отмечено, что, в связи с недостаточным объемом и неравномерным распределением информации о проявлении землетрясения на территории г. Кривой Рог координаты эпицентра по макросейсмическим данным ( $48,00^\circ$  N,  $33,65^\circ$  E) носят условный характер [Скляр, Князева, 2012].

При решении вопроса в отношении природы сейсмических событий 25.12.2007 и 14.01.2011 г. настораживает возникновение процессов в очагах излучений в 04—05 ч, т. е. в период времени проведения взрывов в шахтах. По сейсмическому эффекту они превосходят наиболее мощные взрывы, поэтому можно предположить следующее. Взрывы, проводившиеся в течение длительного периода времени в карьерах и шахтах, повлияли на активизацию процессов в зоне глубинных тектонических нарушений земной коры в районе г. Кривой Рог [Кутас и др., 2013].

В оценке параметров землетрясения 14.01.2011 г. по инструментальным данным расхождения незначительные. Координаты эпицентра и глубина очага из разных источников следующие:  $48,14^\circ$  N,  $33,29^\circ$  E;  $h = 30$  км (EMSC);  $48,06^\circ$  N,  $33,35^\circ$  E;  $h = 24$  км (MOS);  $48,10^\circ$  N,  $33,40^\circ$  E;  $h = 10$  км (ГЦСК);  $47,80^\circ$  N,  $33,18^\circ$  E;  $h = 5$  км (с/ст. Крыма). В отношении природы этого события все же остается некоторая неопределенность; нельзя исключить следующее — землетрясение возникло вследствие проведения мощного взрыва в шахте им. Ленина на глубине, превышающей 1200 м.

Ввиду специфических особенностей рассмотренных сейсмических событий к тектоническим землетрясениям в районе Криворожской железорудной структуры с наибольшим основанием можно причислить последнее, произошедшее в ночное время и сопровождавшееся сотрясениями значительной интенсивности на разных участках города. Магнитуда землетрясения 23.06.2013 г. выше, чем у предыдущих, по записям станций ГЦСК  $mb = 4,5$  (и до 5, по информации других служб, см. табл. 1). При изучении волновой картины (рис. 5) отмечено вступление волны  $pP$ , по времени которого оценена глубина расположения очага 10 км. По данным различных сейсмологических центров, очаг находится на глубине 10—20 км. Ночное время не характерно для проведения шахтных

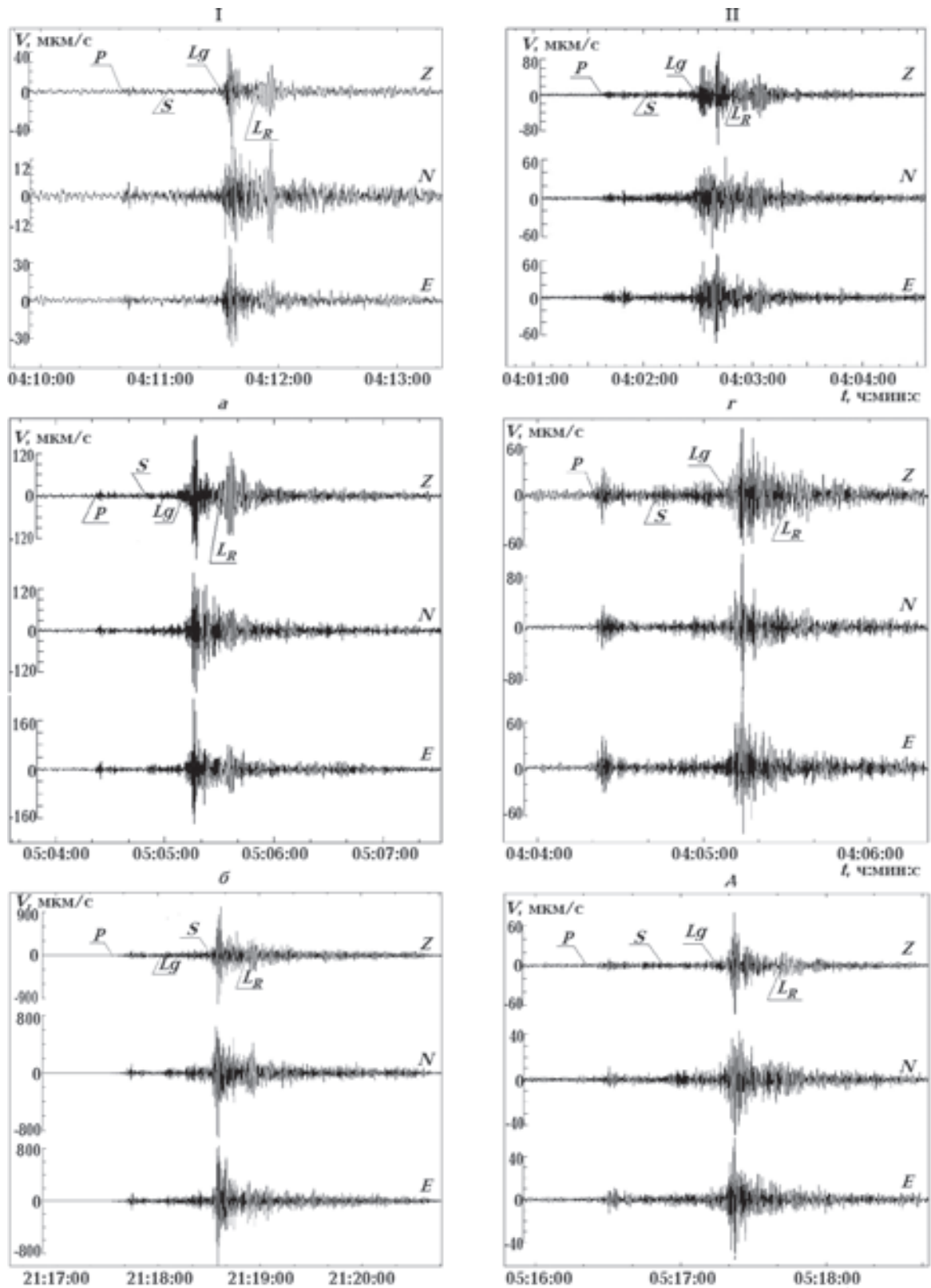


Рис. 3. Записи сейсмических событий, зарегистрированных сейсмической станцией «Малин»: I — землетрясения (а — 25.12.2007 г., 04 ч 10 мин;  $f=0,5-2,0$  Гц; б — 14.01.2011 г., 05 ч 04 мин;  $f=0,5-2,0$  Гц; в — 23.06.2013 г., 21 ч 17 мин;  $f=0,6-4,5$  Гц); II — взрывы в шахтах (r — 31.03.2012 г., 04 ч 00 мин;  $f=0,6-4,5$  Гц; А — 17.06.2012 г., 04 ч 03 мин;  $f=0,6-4,5$  Гц; е — 22.12.2012 г., 05 ч 15 мин;  $f=0,6-4,5$  Гц).

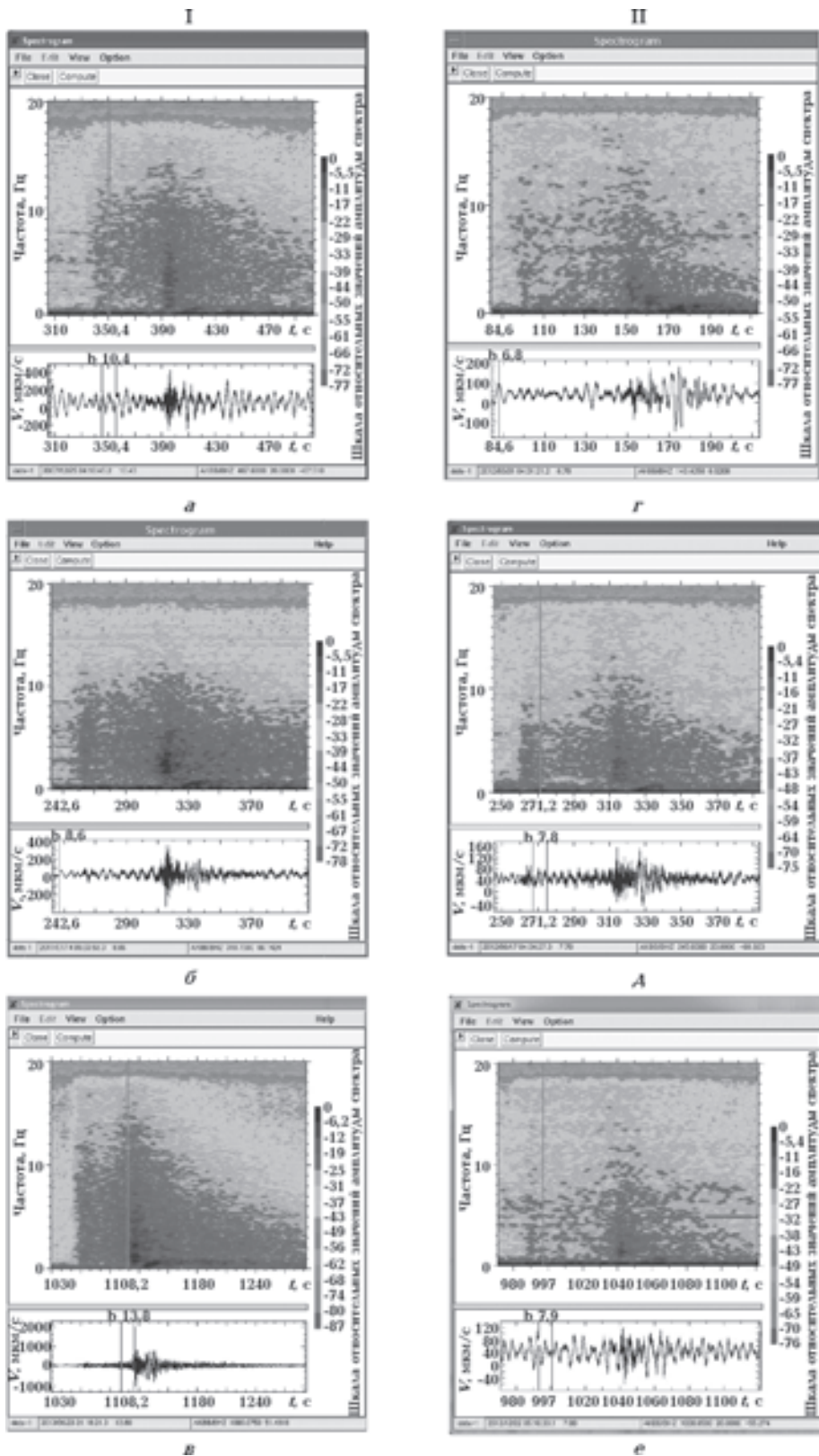


Рис. 4. Спектрограммы сейсмических событий. Условные обозначения см. на рис. 3.



**Т а б л и ц а 1. Оперативные данные сейсмологических центров о параметрах землетрясения 23 июня 2013 г. в Кривом Роге**

$t_0$ , ч, мин, с	$\varphi^\circ$ N	$\lambda^\circ$ E	$H$ , км	$mb$	Центр
21 16 33,0	48,08	33,50	10	4,5	AKASG
21 16 34,1	48,05	33,54	10	4,9	BUC
21 16 35,2	48,05	33,37	14	4,5	NEIC
21 16 34,0	48,19	33,43	10	4,5	GFZ
21 16 33,0	48,12	33,45	2	4,6	INFO
21 16 32,8	48,01	33,37	15	4,7	CSRC
21 16 33,5	48,20	33,60	20	5,0	BGSG

**Т а б л и ц а 2. Данные станций ГЦСК о количестве промышленных взрывов на УЩ с магнитудой  $0,5 < mb < 4,0$**

$mb$	Количество взрывов	
	2011 г.	2012 г.
0,5—0,9	342	463
1,0—1,4	338	295
1,5—1,9	426	417
2,0—2,4	204	240
2,4—2,9	51	39
3,0—3,5	2	10
3,6—3,9	3	

**Т а б л и ц а 3. Данные станций ГЦСК о районах проведения взрывов с  $mb \geq 2,0$**

Номер блоков	Район взрывов, область (блоки и мегаблоки УЩ)	2011 г.		2012 г.	
		$mb$	Количество взрывов	$mb$	Количество взрывов
1	Житомирская (Житомирский, Коростенский)	2,0—2,4	53	2,0—2,4	51
		2,5—2,7	20	2,5—2,8	15
		—	—	3,0—3,3	3
2	Ривненская (Новоград-Волынский)	2,0—2,4	44	2,0—2,4	51
		2,5—2,9	9	2,5—2,6	7
		3,5	1	—	—
3	Киевская (Киевский)	2,0—2,3	14	2,0—2,4	15
		2,5—2,7	3	2,5—2,7	4
4	Хмельницкая (Бердичевский, Винницкий)	2,0—2,4	21	2,0—2,4	33
		2,5; 2,6	2	—	—
		—	—	3,0; 3,3	2
5	Винницкая (Винницкий, Могилев-Подольский)	2,0—2,4	28	2,0—2,4	43
		2,5—2,8	4	2,5—2,9	3
		—	—	3,2	1
6	Черкасская (Уманский)	2,0—2,4	17	2,0—2,4	15
		2,5—2,8	4	2,5	1
7	Кировоградская (Ингулецкий)	2,0—2,4	21	2,0—2,4	28
		2,5—2,9	7	2,5—2,7	6
8	Днепропетровская (Среднеприднепровский)	2,1—2,4	6	2,3—2,4	4
		2,5	2	2,5—2,8	3
		3,1—3,9	4	3,0—3,5	4

взрывов в этом районе, во всяком случае станциями ГЦСК не было зафиксировано взрывов в 24 ч по киевскому времени. Важно также, что в Государственном комитете Украины по промышленной безопасности, охране труда и горному надзору отрицают факт проведения каких-либо взрывных работ на предприятиях Кривого Рога в это время.

При сопоставлении особенностей спектрограмм сейсмических событий разной природы установлено следующее. Спектрограммы землетрясений в отличие от спектрограмм шахтных взрывов более насыщенные, без явных затуханий. Спектры сигналов отмечены в полосе частот до 16 Гц. Максимум энергии сигналов при землетрясениях проявляется в цуге поверхностных волн, как и в случае взрывов в шахтах. Однако максимальная спектральная плотность сконцентрирована не в  $L_R$ -волне, а в цуге  $L_g$ -волны в полосе частот до 7 Гц. В  $L_R$ -волне максимум спектральной плотности находится в более низком диапазоне частот — в полосе до 1 Гц.

**Анализ природы локальных землетрясений на УЩ.** Землетрясения 2005—2011 гг. ( $m_b = 2,0 \div 3,0$ ), очаги которых находятся на юго- и северо-западном краях щита, и 2007—2013 гг. ( $m_b = 3,5 \div 4,5$ ) — на границе шовной зоны в центре щита, разделяющей мегаблоку, с нашей точки зрения, связаны с тектоническими процессами в глубинных разломах земной коры. Однако время возникновения разрядки напряжений, по-видимому, связано с нарушением геодинамического равновесия в зонах разломов под воздействием нагрузок критического уровня, вызванных в одном районе работой ГЭС, в другом — мощными взрывами в карьерах и шахтах.

Вопросам влияния внешних воздействий на сейсмичность посвящены исследования многих авторов. В работах [Гуфельд, 2007; Гуфельд

и др., 2011 и др.] обсуждаются результаты изучения природных и техногенных воздействий на сейсмичность. Установлено некоторое влияние на проявление местной сейсмичности промышленных взрывов и сбросов воды с плотин. Отмечены вероятность возрастания количества наведенных землетрясений с увеличением высоты плотин и возникновение сильных землетрясений спустя 5—10 лет и более после заполнения водохранилища. Материалы по этим вопросам приведены в публикациях [Николаев, 1973, 1994; Мирзоев и др., 1987, 2009; Невский и др., 1994; Смирнов и др., 1994] и др. Обобщенные данные о результатах изучения геосреды, сейсмического процесса и факторов, оказывающих воздействие на сейсмичность, представлены в работах [Шуман, 2011, 2013].

Очаги 13 землетрясений на УЩ, зарегистрированных в 2005—2013 гг., 4 из которых проявились макросейсмически (1 на юго-западном крае УЩ и 3 в его центральной части), находятся в протяженных зонах глубинных разломов — Подольской, Сарненско-Варваровской и Криворожско-Кременчугской. Поскольку эпицентры землетрясений совпадают с районами расположения ГЭС, шахт и карьеров, можно полагать, что сейсмические события в перечисленных зонах разломов (на глубинах 3—6 и 10—20 км) возникли под техногенным воздействием. Землетрясения в районе Новоднестровской ГЭС, наблюдаемые с момента заполнения котловины водой, по-видимому, связаны с периодическими изменениями уровня воды в водохранилище, нарушающими геодинамическое равновесие в приповерхностной части земной коры.

Землетрясения в г. Кривой Рог могут быть вызваны обвалами, ослаблением участков среды вследствие образования пустот и увеличения трещиноватости в массиве горных пород при добыче руды. Во время проведения работ

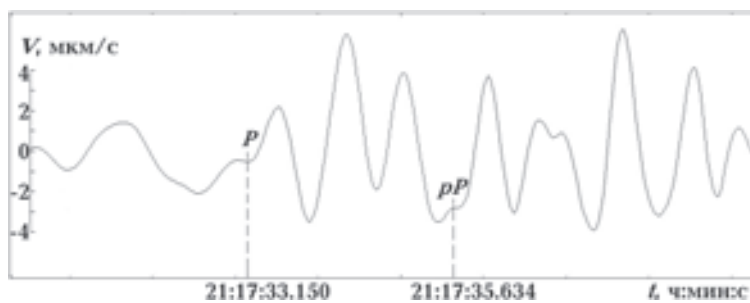


Рис. 5. Вступления  $P$ - и  $pP$ -волн на записи землетрясения 23.06.2013 г. сейсмической станцией «Малин».

в шахтах с использованием мощного заряда (эквивалент более 100 т ВВ) на глубинах 400—1300 м перемещается большая масса породы вблизи источников взрывов и напряжения в среде на некоторых участках в зоне разломов достигают критического уровня.

Информация о проведении мощных взрывов в шахтах в даты регистрации двух первых землетрясений остается неопределенной. Согласно сведениям из Государственного комитета Украины по промышленной безопасности, охране труда и горному надзору, представленным в ГЦСК, на предприятиях Кривого Рога ежемесячно производится около 300 взрывов в промышленных карьерах и 500 взрывов в шахтах. При взрывах в карьерах используется до 1000 т ВВ, при взрывах в шахтах — в основном до 5 т. Взрывы в шахтах на глубине 400—1300 м мощными зарядами (до 125 т) производятся приблизительно один раз в три месяца.

Данные о проведении мощного взрыва в момент возникновения землетрясения 25.12.2007 г. в 04 ч 09 мин не поступили. По землетрясению 14.01.2011 г. в 05 ч 03 мин первичная информация касается только слабого взрыва в одной из шахт, повторная — мощного взрыва в другой шахте, произведенного в момент возникновения землетрясения. 23.06.2013 г. в 21 ч 16 мин взрывные работы в шахтах не проводились. Из 9 наиболее мощных взрывов с  $mb \geq 3,0$  в 2011—2012 гг. 6 взры-

вов были произведены в период времени 04 ч 00 мин — 05 ч 15 мин и 3 других — в 10 ч 00 мин — 11 ч 08 мин (см. табл. 4).

**Заключение.** Землетрясения на юго-западном крае УЩ в районе пересечения зон глубинных разломов в некоторой мере могут быть связаны с работой Новоднестровской ГЭС. При первых землетрясениях, возникших во время заполнения котловины водой в 1984 г., магнитуда соответствовала значениям 3,8 и 3,6. При наиболее сильных землетрясениях, произошедших в последующие годы, магнитуда составляла 3,4—3,1 (1987—1989) и 2,7—2,6 (1991—2011). Можно предположить, что происходит затухание интенсивности тектонического процесса, вызванного нарушением геодинамического равновесия в зоне глубинных разломов в районе ГЭС.

В течение последних лет в пределах Криворожской железорудной структуры зарегистрированы землетрясения магнитудой 3,5—4,5. При одном землетрясении, которое возникло вследствие взрыва, произведенного в шахте им. Орджоникидзе 13.06.2010 г., что вызвало обрушение грунта на территории 16 га глубиной 10—80 м, провалы поверхности отмечены в черте города.

Во второй половине XX в. специалисты (геологи, гидрогеологи, экологи и др.) и представители общественности проявили обеспокоенность интенсивностью горных работ в Криво-

Т а б л и ц а 4. Данные станций ГЦСК о взрывах на УЩ с  $mb=3,0 \div 3,9$

Дата	Время в очаге, ч, мин, с	Координаты эпицентра		$mb$
		$\varphi^\circ N$	$\lambda^\circ E$	
14.01.2011	05 03 12	48,10	33,40	3,5
20.07.2011	11 08 02	51,36	27,36	3,5
22.10.2011	04 06 45	48,39	33,24	3,1
17.11.2011	10 01 07	48,18	33,45	3,8
17.11.2011	11 00 27	48,06	33,51	3,9
08.12.2011	10 00 63	48,03	33,23	3,6
27.03.2012	13 03 21	50,86	28,50	3,3
31.03.2012	04 00 42	48,20	33,50	3,0
23.05.2012	10 03 49	49,84	26,98	3,0
24.05.2012	08 00 06	51,26	28,44	3,1
31.05.2012	10 56 53	49,95	27,00	3,3
31.05.2012	10 58 30	49,70	28,60	3,2
17.06.2012	04 03 16	48,10	33,60	3,0
02.11.2012	09 18 49	50,87	29,60	3,0
17.11.2012	05 15 37	48,07	33,36	3,5
22.12.2012	05 15 20	48,20	33,40	3,0

рожье. Проводились количественные оценки изменений геологической среды под воздействием природных, техногенно-природных и техногенных факторов. Изучались границы деформаций земной поверхности, связанные с глубиной и площадью выработок с учетом условий залегания пород и тектонических нарушений. Отмечалось, что экстенсивная эксплуатация месторождений в железорудном бассейне обусловила катастрофическое нарушение эколого-геологической обстановки в Кривом Роге, где на узкой полосе (протяженностью более 100 км) концентрация гигантских горнодобывающих и перерабатывающих предприятий превысила всякие допустимые нормы. На каждого жителя, из почти 1 млн проживавших в конце XX века в районе Кривого Рога, приходилось около 2 т вредных промышленных отходов; город оказался перед перспективой экологического коллапса. С 1985 по 1990 г. экологическая обстановка в этом районе не улучшилась, наоборот значительно увеличилась площадь земель, которые были отчуждены в Криворожском бассейне под объекты горнодобывающей промышленности, — с 50,7 до 69,8 тыс га [Экологическая..., 1993]. Масштабы отчуждения земель в последующие годы под объекты горнодобывающей промышленности (горный отвод, промышленное строительство,

отвалы, хранилища, карьеры и др.) авторам настоящей публикации неизвестны.

Возникновение в Кривом Роге землетрясений 25.12.2007, 14.01.2011 и 23.06.2013 г. приводит к необходимости установления уровня сейсмического потенциала в Криворожском железорудном бассейне. Оценка магнитуды каждого из трех землетрясений, представленная в разных каталогах, различается в пределах значения 0,5 соответственно 3,3—3,9; 3,5—4,0 и 4,5—5,0. Интенсивность сотрясений земной поверхности в районе эпицентров — 5 баллов по шкале MSK-64. По инструментальным и макросейсмическим данным очаги этих землетрясений находятся в интервале глубин 5—20 км.

Возрастание магнитуды землетрясений в период 2007—2013 гг. характеризует активизацию тектонического процесса на одном из участков Криворожско-Кременчугской зоны разломов, которая в определенной мере, по видимому, связана с количеством и мощностью взрывов, произведенных в шахтах в последние годы. В связи с тем, что на некоторых участках поверхности разрушение среды достигло критического уровня, в настоящее время первоочередной задачей является проведение непрерывных сейсмических наблюдений в районе эпицентров землетрясений и анализ допустимой мощности взрывов в шахтах.

### Список литературы

- Андрущенко Ю. А. Контроль промислових та аварійних вибухів на території України сейсмічними станціями Головного центру спеціального контролю // Геофиз. журн. — 2006. — **28**, № 3. — С. 110—115.
- Андрущенко Ю. А., Гордієнко Ю. А. Аналіз ефективності застосування критеріїв ідентифікації вибухів і землетрусів для локальних та регіональних подій в умовах платформної частини України // Геофиз. журн. — 2009. — **31**, № 3. — С. 121—129.
- Андрущенко Ю. А., Кутас В. В., Кендзера А. В., Омельченко В. Д. Результаты сейсмических наблюдений на Восточно-Европейской платформе в районах Воыно-Подоллии и Украинского щита в 2005—2011 гг. // Сейсмологический бюллетень Украины за 2010 год. — Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. — С. 42—52.
- Андрущенко Ю. А., Кутас В. В., Кендзера А. В., Омельченко В. Д. Слабые землетрясения и промышленные взрывы, зарегистрированные на Восточно-Европейской платформе в пределах территории Украины 2005—2010 гг. // Геофиз. журн. — 2012. — **34**, № 3. — С. 49—60.
- Андрущенко Ю. А., Кутас В. В., Кендзера А. В., Омельченко В. Д., Гордиенко Ю. А., Калитова И. А. Природа сейсмических событий, зарегистрированных на западе Украинского щита в 2005—2007 гг. // Геофиз. журн. — 2010. — **32**, № 2. — С. 64—74.
- Бондарь М. Н. Сейсмическое событие 14 января 2011 г. в районе Кривого Рога (Днепропетровская область) // Сейсмологический бюллетень Украины за 2011 год. — Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2012 — С. 136—140.
- Гинтов О. Б. Зоны разломов Украинского щита. Влияние процессов разломообразования на формирование структуры земной коры // Геофиз. журн. — 2004. — **26**, № 3. — С. 3—24.
- Гуфельд И. А. Сейсмический процесс. Физико-химические аспекты. — Королев: ЦНИИМаш, 2007. — 160 с.
- Гуфельд И. А., Матвеева М. И. Барьерный эффект дегазации и деструктуризация земной коры // Докл. РАН. — 2011. — **438**, № 2. — С. 253—257.
- Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской

- платформы / Под ред. Н. В. Шарова, А. А. Маловичко, Ю. К. Шукина. Кн. 1. Землетрясения. — Петрозаводск: Геофиз. служба, Карел. науч. центр, Ин-т геологии РАН, 2007. — С. 14—66.
- Карта разрывных нарушений и основных линейментов юго-запада СССР (с использованием материалов космических съемок).* — 1:1000 000 / Гл. ред. Н. А. Крылов. — Киев: Мингео СССР, 1988. — 4 л.
- Кендзера А.В.* Юго-западные регионы Восточно-Европейской платформы // Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы / Под ред. Н. В. Шарова, А. А. Маловичко, Ю. К. Шукина. Кн. 1. Землетрясения. — Петрозаводск: Геофиз. служба, Карел. науч. центр, Ин-т геологии РАН, 2007. — С. 310—327.
- Кендзера О. В., Гурова И. Ю., Андрущенко Ю. А., Амушакелі Т. А., Лісовий Ю. В.* Землетрус 12.03.2006 року в Житомирській області // Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Т. Шевченка. — 2007. — Вип. № 42. — С. 66—69.
- Кендзера А. В., Омельченко В. Д., Старостенко В. И., Дрогицкая Г. М., Вербицкий С. Т., Палиенко В. П., Спица Р.А.* Результаты инструментальных сейсмических наблюдений в районах Ровенской и Хмельницкой АЭС // Геофиз. журн. — 2003. — 25, № 1. — С. 17—27.
- Кендзера А. В., Старовойт О. Е., Омельченко В. Д., Наежка Л. И., Вольфман Ю. М., Габсатарова И. П., Пивоваров С. П., Лесовой Ю. В.* Криворожское землетрясение 25 декабря 2007 г. Инструментальные данные // Геофиз. журн. — 2012. — 34, № 2. — С. 60—71.
- Копничев Ю. Ф., Павлова О. В.* Новые данные о строении Украинского щита // Докл. АН СССР. — 1990. — 311, № 3. — С. 575—578.
- Костюк О. П., Руденская И. М., Москаленко Т. П.* Сейсмичность Карпат в 1984 г. // Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны Единой системы сейсмических наблюдений СССР (Крым—Карпаты, за 1984 г.). — Киев: Наук. думка, 1987. — С. 181—187.
- Костюк О. П., Руденская И. М., Москаленко Т. П.* Сейсмичность Карпат в 1989 г. // Сейсмологический бюллетень западной зоны ЕССН СССР за 1989 г. — Киев: Наук. думка, 1992. — С. 111—116.
- Костюк О., Сагалова Є., Руденська І., Пронишин Р., Кендзера О.* Каталог землетрусів Карпатського регіону за 1091—1990 роки // Праці Наукового товариства імені Т. Г. Шевченка. Т. 1. Геологія, геофізика, хімія, біохімія, матеріалознавство, механіка матеріалів. — Львів: Вид-во Товариства ім. Т. Г. Шевченка, 1997. — С. 121—137.
- Криворожская сверхглубокая скважина СГ-8.* — Донецк: Ноулидж, 2011. — 555 с.
- Кутас В. В., Андрущенко Ю. А., Омельченко В. Д.* Глубинное строение земной коры в районе Криворожской структуры по геолого-геофизическим данным и влияние техногенного фактора на проявление локальной сейсмичности // Геофиз. журн. — 2013. — 35, № 3. — С. 156—165.
- Кутас В. В., Омельченко В. Д., Дрогицкая Г. М., Калитова И. А.* Криворожское землетрясение 25 декабря 2007 г. // Геофиз. журн. — 2009. — 31, № 1. — С. 42—52.
- Кутас В. В., Кендзера А. В., Омельченко В. Д., Дрогицкая Г. М., Калитова И. А.* Проявление сейсмичности в XVIII—XX вв. и потенциально сеймоопасные зоны западной части Украины // Геофиз. журн. — 2006. — 28, № 4. — С. 3—15.
- Кутас В. В., Омельченко В. Д., Кендзера А. В., Дрогицкая Г. М., Калитова И. А.* Сейсмичность западной части Восточно-Европейской платформы в пределах Украины // Геофиз. журн. — 2007. — 29, № 5. — С. 52—72.
- Литосфера Центральной и Восточной Европы.* Географические карты IV, VI, VIII / Гл. ред. А. В. Чекунов. — Киев: Наук. думка, 1988. — 171 с.
- Мирзоев К. М., Николаев А. В., Лукк А. А., Юнга С. Л.* Наведенная сейсмичность и возможности регулируемой разрядки напряжений в земной коре // Физика Земли. — 2009. — № 10. — С. 49—68.
- Мирзоев К. М., Негматуллаев С. Х., Симпсон Д., Соболева О. В.* Возбужденная сейсмичность в районе водохранилища Нурекской ГЭС. — Душанбе; Москва: Дониш, 1987. — 403 с.
- Невский М. В., Артамонов А. М., Ризниченко О. Ю.* Эффект удаленных взрывов в статистике землетрясений района умеренной сейсмичности // Наведенная сейсмичность. — Москва: Наука, 1994. — С. 40—52.
- Николаев А. В.* Сейсмические опасности // Наведенная сейсмичность. — Москва: Наука, 1994. — С. 139—164.
- Николаев А. В.* Усиление региональной локальной сейсмичности, связанное с заполнением крупных водохранилищ // Новейшая тектоника, новейшие отложения и человек. Сб. 5. — Москва: Изд-во МГУ, 1973. — С. 194—206.
- Палиенко В. П., Спица Р. О., Кендзера О. В., Омельченко В. Д., Бондар А. Л., Засець І. М.* Сучасні рухи земної кори на території України: проблеми тектонічної інтерпретації та картографування // Геоінформатика. — 2004. — № 1. — С. 66—73.

- Пустовитенко Б. Г., Пустовитенко А. А., Капитанова С. А. Процессы в очаговой зоне Криворожского землетрясения 25 декабря 2007 г. // Сейсмологический бюллетень Украины за 2010 год. — Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. — С. 17—22.
- 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 2007 г. // Геофиз. журн. — 2010. — **32**, № 2. — С. 75—97.
- Свидлова В. А., Бондарь М. Н. Каталог и подробные данные о сейсмических событиях центральной и северо-восточной части Украины за 2010 г. // Сейсмологический бюллетень Украины за 2010 год. — Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. — С. 109—114.
- Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны Единой системы сейсмических наблюдений СССР (Крым—Карпаты, за 1984 г.). — Киев: Наук. думка, 1987. — 213 с.
- Сейсмологический бюллетень Украины за 2005 год. — Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2007. — 204 с.
- Сейсмологический бюллетень Украины за 2006 год. — Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2008. — 296 с.
- Сейсмологический бюллетень Украины за 2007 год. — Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2009. — 143 с.
- Сейсмологический бюллетень Украины за 2008 год. — Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2010. — 188 с.
- Сейсмологический бюллетень Украины за 2009 год. — Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. — 178 с.
- Сейсмологический бюллетень Украины за 2010 год. — Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. — 199 с.
- Сейсмологический бюллетень Украины за 2011 год. — Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2012. — 231 с.
- Скляр А. М., Князева В. С. Макросейсмические данные криворожского землетрясения 14 января 2011 г. // Сейсмологический бюллетень Украины за 2011 год. — Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2012. — С. 59—61.
- Скляр А. М., Князева В. С., Остапин А. М. Макросейсмический эффект криворожского землетрясения 25 декабря 2007 г. // Сейсмологический бюллетень Украины за 2007 год. — Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2009. — С. 14—16.
- Смирнов В. Б., Черепанцев А. С., Мирзоев В. К. Фрактальные свойства сейсмичности в районе Нурекского водохранилища // Наведенная сейсмичность. — Москва: Наука, 1994. — С. 138—147.
- Шуман В. Н. Геосреда и сейсмический процесс: проблемы управления // Геофиз. журн. — 2011. — **33**, № 2. — С. 16—27.
- Шуман В. Н. О проблеме фоновой электромагнитно-акустической регуляции сейсмичности: геотехнический аспект // Геофиз. журн. — 2013. — **35**, № 1. — С. 46—60.
- Экологическая геология Украины. Справочное пособие / Отв. Ред. Е. Ф. Шнюков. — Киев: Наук. думка, 1993. — 407 с.
- Thybo H., Janik T., Omelchenko V. D., Grad M., Garetzky R. G., Belinsky A. A., Karatayev G. I., Zlotzki G., Knudsen M. E., Sand R., Yliniemi J., Taira T., Luosto U., Komminaho K., Giese R., Guterch A., Lund C.-E., Kharitonov O. M., Ilchenko T. V., Lysynchuk D. V., Skobelev V. M., Doody J. J. Upper lithospheric seismic velocity structure across the Pripyat Trough and the Ukrainian Shield along the Eurobridge' 97 profile // Tectonophysics. — 2003. — **371**, iss. 1—4. — P. 41—79.