

## Слабые землетрясения и промышленные взрывы, зарегистрированные на Восточно-Европейской платформе в пределах территории Украины в 2005—2010 гг.

© Ю. А. Андрущенко<sup>1</sup>, В. В. Кутас<sup>2</sup>, А. В. Кендзера<sup>2</sup>, В. Д. Омельченко<sup>2</sup>, 2012

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

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

Поступила 21 июня 2011 г.

*Представлено членом редколлегии С. А. Выжвой*

Ідентифікацію природи слабких сейсмічних подій, які зареєстровані в межах Східноєвропейської платформи, базується на використанні результатів аналізу форми запису та спектрально-часових діаграм. Визначено різницю у хвильових формах і спектрально-часових діаграмах локальних землетрусів (тектонічних і техногенних) та потужних промислових вибухів. Установлено зв'язок вогнищ слабоінтенсивних сейсмічних проявів тектонічного походження із зонами розривних порушень у земній корі.

Identification of the nature of weak seismic events recorded in the East European Platform is based on the use of the analysis results for recording forms and spectral time diagrams. The difference between waveforms and spectral time diagrams of the local earthquakes (tectonic and technogeneous) and powerful industrial explosions has been noted. The relation between the sources of low-intensity seismic manifestations of tectonic origin and fractured zones in the Earth's crust has been determined.

**Введение.** При интерпретации записей сейсмических проявлений низкого энергетического уровня существует неопределенность в оценке природы зарегистрированных событий и точности рассчитанных координат эпицентров. Форма записи слабоинтенсивных землетрясений и промышленных взрывов в большинстве случаев подобна. Поэтому определить природу происхождения сейсмического события, основываясь только на визуальном анализе записей, не удастся. Необходимы исследования динамических особенностей цугов объемных и поверхностных волн. Погрешности, возникающие при расчете координат эпицентров слабых землетрясений, связаны прежде всего с недостаточным количеством станций в региональных сейсмических сетях. Пункты наблюдений часто находятся в узких азимутальных створах по отношению к участкам геологической среды, слабая сейсмическая активность которых до настоящего времени не фиксировалась.

Изучению сейсмических сигналов низкого энергетического уровня, зарегистрированных в разных регионах, и установлению различий в записи волн разного типа в зависимости от их природы посвящен ряд работ [Годзиковская, 1995; Меметова, Пустовитенко, 1994 и др.]. Выделение записей сейсмических событий, вызванных промышленными взрывами, позволяет правильно оценивать реальный уровень сейсмичности района, исключает его завышение за счет включения взрывов в каталоги землетрясений. Результаты обработки цифровых записей слабых сейсмических событий, произошедших на Восточно-Европейской платформе (ВЕП), анализ происхождения местных событий, которые зарегистрированы на Русской плите, и установление различий в спектральном составе волн разного типа приведены в работах [Маловичко и др., 2007; Надежка и др., 2007 и др.].

Результаты анализа природы локальных сейсмических событий, зарегистрированных в за-

падной части платформы, представлены в публикациях [Андрущенко, 2006; Андрущенко, Гордієнко, 2009; Андрущенко и др., 2010]. Настоящая статья — продолжение работы, начатой в этом направлении. Приведены записи сейсмических событий разного происхождения. Рассмотрено расположение эпицентров местных землетрясений, произошедших на территории Волыно-Подоллии и Украинского щита (УЩ), и их очаговых зон с точки зрения тектонических особенностей изучаемой части платформы.

Цель настоящей работы:

- отметить основные положения применяемого способа идентификации природы сейсмических событий;
- привести результаты изучения формы и спектрограмм слабых землетрясений (тектонических и техногенных) и промышленных взрывов.

**Критерии распознавания природы сейсмических событий.** Распространенный критерий разделения записей землетрясений и взрывов — значение соотношения амплитуд объемных  $S$ - и  $P$ -волн. Исходя из анализа сигналов, зарегистрированных сетью сейсмических станций Главного центра специального контроля (ГЦСК) Национального космического агентства Украины (НКАУ), можно утверждать, что в случаях, когда соотношение амплитуд  $S/P$  больше трех, зарегистрированное событие с высокой степенью вероятности следует классифицировать как землетрясение. При более низких значениях возможность распознавания природы зарегистрированного сейсмического события снижается; небольшая величина  $S/P$  не может рассматриваться как достаточно надежный индикатор происхождения сейсмического события. На соотношение амплитуд поперечных и продольных волн, зарегистрированных разными сейсмостанциями, существенное влияние оказывают строение среды на пути распространения волн и диаграммы направленности излучения из источника. Локальные сейсмические события с несимметричным очагом излучения, записанные аппаратурой только в одном из пунктов сети наблюдений, при  $S/P$  меньше трех могут быть ошибочно отнесены к ряду взрывов.

Для идентификации происхождения сейсмических событий, рассматриваемых ниже, использован спектрально-временной критерий. Сопоставление спектров объемных и поверхностных волн оказывается недостаточно на-

дежным для установления природы сейсмических сигналов. Более информативны спектрально-временные диаграммы (сонограммы или спектрограммы), полученные с помощью оконного преобразования Фурье и характеризующие картину изменения спектра события во времени. На приведенных ниже рисунках спектрограммы локальных землетрясений и промышленных взрывов представлены в виде плоских графиков. Сравнение частоты максимальной спектральной плотности объемных и поверхностных волн в большинстве случаев позволило с достаточной уверенностью оценить природу сейсмических событий, зарегистрированных на рассматриваемой части ВЕП.

**Сеть сейсмических станций.** В изучаемой части ВЕП сейсмическая сеть состоит из 2 групп сейсмических станций (с / ст.). Группа из 4 станций, укомплектованная цифровой и аналоговой аппаратурой, входит в карпатскую сейсмическую сеть Института геофизики НАН Украины, расположенную в 19 пунктах наблюдений. Станции находятся в юго-западной части ВЕП на небольшом удалении от границ Карпатского региона: 2 — в Днестровском прогибе; 1 — на юго-западном крае щита; 1 — в районе Буковины на границе с Предкарпатским прогибом.

В северо-западной части УЩ расположена группа станций, которая относится к ГЦСК НКАУ. В ее составе — Украинская сейсмическая группа (УСГ), расположенная в районе г. Малин, и три периферийных пункта наблюдения вблизи населенных пунктов Подлубы, Зеленица и Каменный Брод. В состав УСГ входят 23 вертикальных сейсмоприемника, установленные в скважинах, и 1 трехкомпонентный широкополосный сейсмоприемник в шахте. Периферийные сейсмические пункты оснащены шахтными сооружениями с установленными в них трехкомпонентными широкополосными сейсмоприемниками. Телеметрическая система выполняет функции сбора информации и централизованного управления элементами системы с одной технической площадки. Расположение пунктов сейсмических наблюдений показано на рис. 1.

**Используемый сейсмический материал.** Данные карпатской группы станций о локальных землетрясениях с магнитудой 1,4—2,9, произошедших в рассматриваемых районах ВЕП в 2005—2008 гг., представлены в каталогах землетрясений Карпатского региона [Сейсмологический ..., 2007—2010]. По материалам станций, расположенных на УЩ, сведения о сейс-



Рис. 1. Схема расположения эпицентров землетрясений и пунктов сейсмических наблюдений: I — границы (1 — Восточно-Европейской платформы по данным [Карта ..., 1988]; 2 — Украинского щита по данным [Гинтов, 2004]); II — эпицентры локальных землетрясений, произошедших в 2005—2011 гг., с магнитудой (1 —  $2,0 < M < 3,0$ ; 2 —  $M > 3,0$ ); III — пункты сейсмических наблюдений (1 — Института геофизики; 2 — ГЦСК).

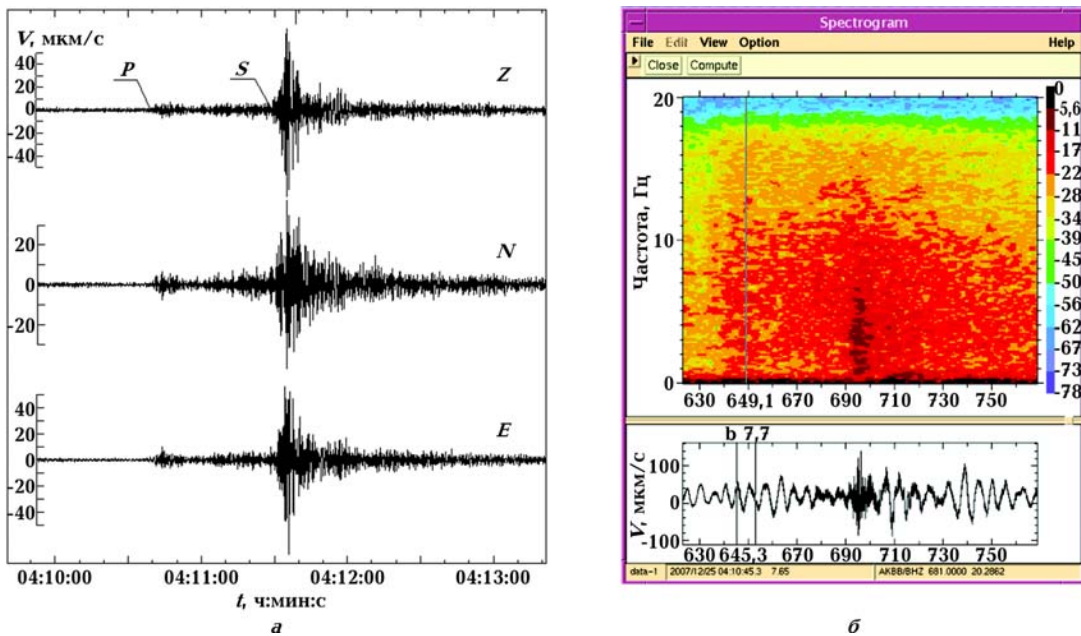


Рис. 2. Запись (а) и спектрограмма (б) криворожского землетрясения тектонического происхождения 25 декабря 2007 г.,  $m_b = 3,3$ , зарегистрированного с/ст. "Малин".

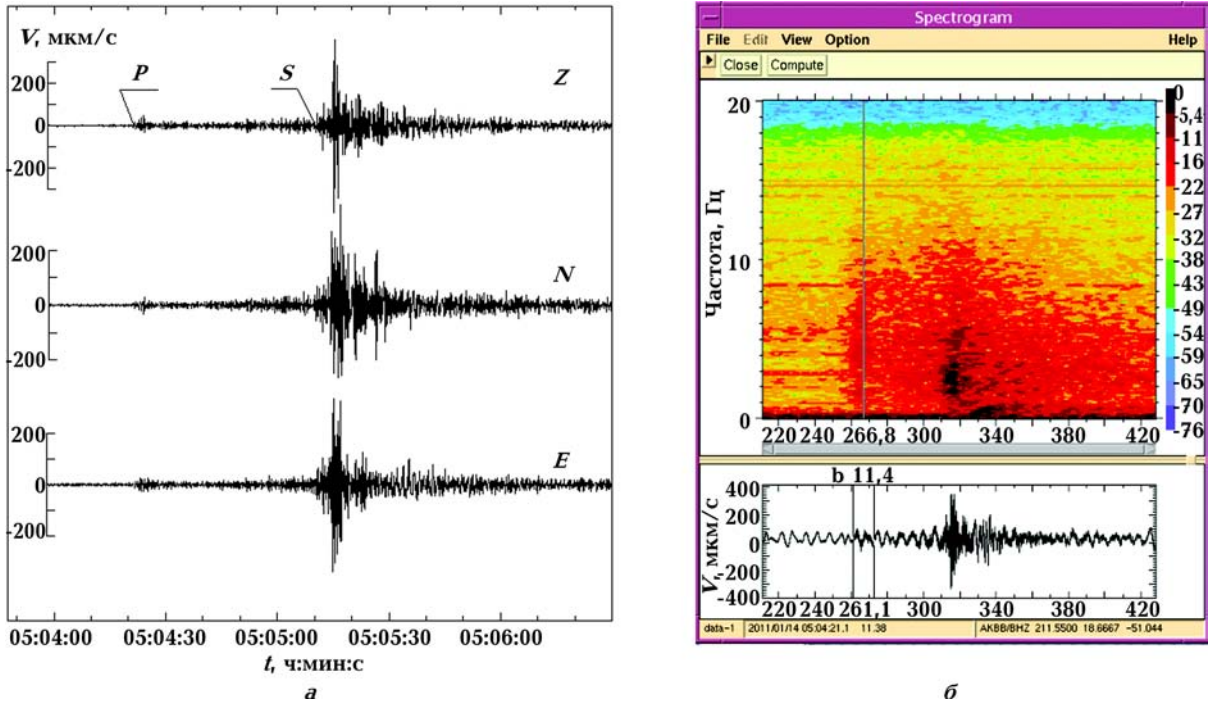


Рис. 3. Запись (а) и спектрограмма (б) криворожского землетрясения тектонического происхождения 14 января 2011 г.,  $mb = 3,5$ , зарегистрированного с/ст. "Малин".

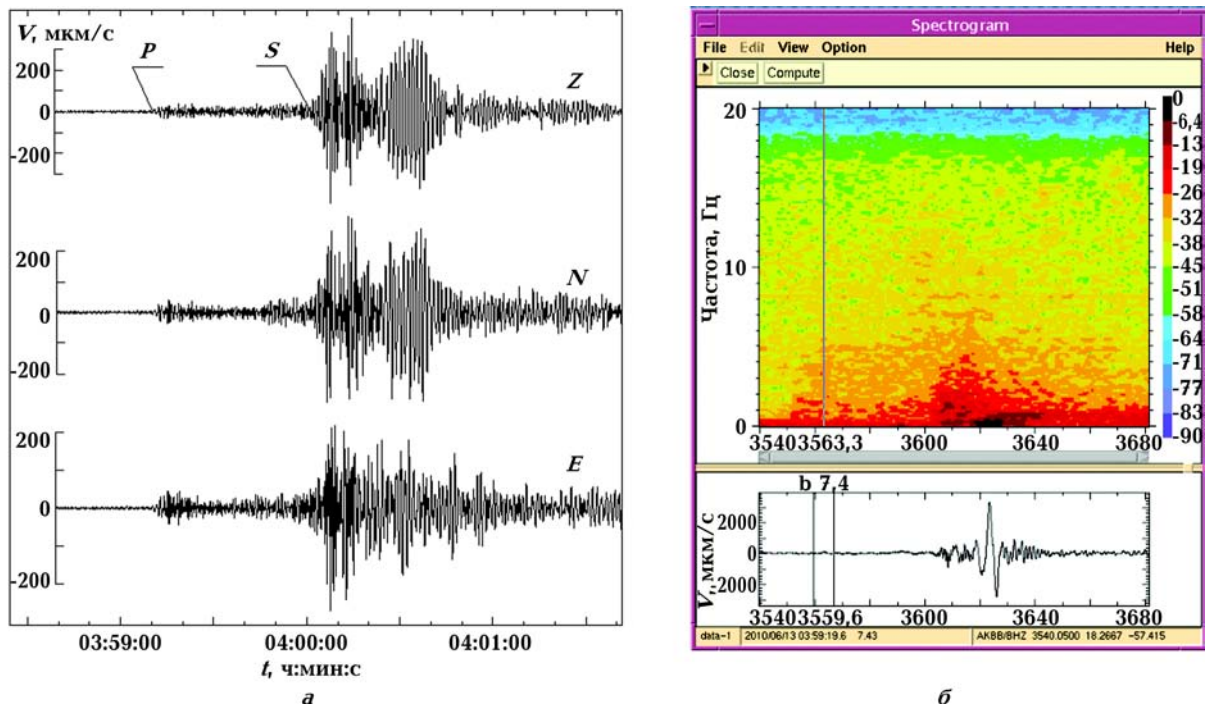


Рис. 4. Запись (а) и спектрограмма (б) техногенного криворожского землетрясения 13 июня 2010 г.,  $mb = 3,5$ , зарегистрированного с/ст. "Малин".

мических событиях разного происхождения с магнитудой  $mb \geq 2,0$ , эпицентры которых находятся на платформе, приведены в "Каталоге местных сейсмических событий, зарегистрированных сейсмологической сетью станций ГЦСК НКАУ с 2005 по 2010 гг." (ниже по тексту — каталог ГЦСК).

Проведено сопоставление данных о сейсмических событиях, зарегистрированных этими группами станций. В каталоге ГЦСК, кроме сведений о 30 локальных землетрясениях с  $M=2,0 \div 3,7$ , приведены координаты эпицентров промышленных взрывов, произведенных в карьерах, которые находятся на УЩ. Часть выделенных слабо интенсивных тектонических землетрясений не нашли отражения в каталогах сети карпатских станций, а записи некоторых наиболее мощных промышленных взрывов представлены как землетрясения.

Отмечены различия в значениях координат эпицентров землетрясений, приведенных в каталогах ГЦСК, и карпатских, которые зависят от нескольких факторов. Основные из них: недостаточное количество станций, близкое расположение их в пределах групп, погрешности в выделении вступлений объемных волн, использование разных годографов и др. В нескольких случаях обнаружена неправильная трактовка волновой картины на записях сейсмических событий, очаги которых находятся на расстояниях более 500 км от карпатских станций.

**Районы проявления слабоинтенсивной сейсмичности.** В изучаемой части ВЕП в период 2005—2010 гг. наиболее сильное землетрясение произошло 25 декабря 2007 г. на УЩ вблизи г. Кривой Рог. Данные о расположении очага землетрясения и его приуроченности к одной из зон разломов, находящихся в центральной части щита и разделяющих блоки земной коры, приведены в работе [Кутас и др., 2009]. Результаты определения координат эпицентра, глубины очага ( $h$ ), установление процессов, происходивших в очаговой зоне, и сведения о макросейсмическом эффекте представлены в работах [Скляр и др., 2009; Пустовитенко и др., 2009; 2010]. Приведены значения координат эпицентра и глубины очага по инструментальным ( $\varphi = 47,99^\circ \text{ N}$ ;  $\lambda = 33,54^\circ \text{ E}$ ;  $h = 10 \text{ км}$ ) и макросейсмическим данным ( $\varphi = 48,03^\circ \text{ N}$ ;  $\lambda = 33,44^\circ \text{ E}$ ;  $h = 5 \text{ км}$ ). Значения магнитуды: 3,2 ( $MSH$ ); 3,4 ( $MD$ ); 3,4 ( $Mw$ ); по макросейсмике — 3,0. По данным других сейсмических служб магнитуда, рассчитанная по продольной волне, находится в полосе

значений 3,7—4,0, по каталогу ГЦСК  $mb = 3,3$ .

14 января 2011 г. в этом же районе произошло землетрясение, параметры которого по предварительным оценкам одной из сейсмических служб равны:  $M=3,9$ ;  $\varphi = 48,14^\circ \text{ N}$ ;  $\lambda = 33,29^\circ \text{ E}$ ;  $h = 30 \text{ км}$ . Согласно данным каталога ГЦСК,  $mb = 3,5$ ;  $\varphi = 48,1^\circ \text{ N}$ ;  $\lambda = 33,4^\circ \text{ E}$ ;  $h = 10 \text{ км}$ .

Из сравнения записей землетрясений 25 декабря 2007 г. и 14 января 2011 г. трехкомпонентным широкополосным сейсмометром SMG-3T, расположенным в шахте пункта наблюдения "Малин" на глубине 37 м, и их спектрально-временных диаграмм установлено, что последнее событие характеризуется более высоким энергетическим уровнем. Максимальные значения скорости движения частиц в поперечной объемной волне при землетрясении 25 декабря 2007 г. и при землетрясении 14 января 2011 г. составили 70 и 300 мкм/с соответственно (рис. 2, а; 3, а). Спектрально-временные диаграммы этих событий идентичны. В обоих случаях спектр сигналов находится в полосе частот до 15 Гц, максимум спектральной плотности в интервале записи  $S$ -волн наблюдается в полосе частот до 7 Гц (рис. 2, б; 3, б).

В этом же районе в результате обрушения склона промышленного карьера 13 июня 2010 г. произошло техногенное землетрясение с  $mb = 3,5$ . В каталоге ГЦСК приведено несколько вариантов значений координат эпицентра:  $\varphi = 48,06^\circ \text{ N}$ ,  $\lambda = 33,81^\circ \text{ E}$ ;  $\varphi = 48,08^\circ \text{ N}$ ,  $\lambda = 33,57^\circ \text{ E}$ ;  $\varphi = 48,2^\circ \text{ N}$ ,  $\lambda = 33,0^\circ \text{ E}$ . Реальные значения координат места обрушения склона карьера:  $\varphi = 47,9^\circ \text{ N}$ ,  $\lambda = 33,4^\circ \text{ E}$ . Погрешность в различных вариантах координат, рассчитанных по данным 4 станций, соответствует  $0,2^\circ$ — $0,3^\circ$  по широте,  $0,15^\circ$ — $0,4^\circ$  по долготе. Такая полоса отклонения значений  $\varphi$  и  $\lambda$  связана с тем, что по отношению к расположению карьера сейсмические станции ГЦСК находятся в границах узкого азимутального створа на эпицентральных расстояниях  $\Delta = 432 \div 530 \text{ км}$  (ближайшая из них — "Малин").

Форма записи техногенного землетрясения (рис. 4, а) существенно отличается от записи тектонических — зарегистрирована мощная поверхностная волна  $L_R$ , по амплитуде соизмеримая с  $S$ -волной, что является признаком расположения источника колебаний вблизи поверхности. Спектр события находится в полосе частот до 7 Гц, при этом в интервале записи  $S$ -волны частота максимума спектральной плотности (ЧМСП) равна 2—3 Гц (рис. 4, б).

На протяжении длительного периода времени отмечалось проявление сейсмичности в юго-западной части УЩ, граничащей с Днестровским прогибом. Зарегистрировано несколько десятков землетрясений с  $M \geq 1,5$ ; при наиболее сильном из них интенсивность сотрясений вблизи эпицентра соответствовала 5 баллам по шкале MSK-64 (подробнее сейсмичность этого района рассмотрена в работах [Кутас и др. 2005; 2006]). В 2005—2010 гг. зарегистрировано 9 землетрясений с магнитудой  $M \geq 2,0$ ; при землетрясениях с  $MD = 2,4$  и  $2,6$  в районе эпицентров отмечены 4-балльные сотрясения земной поверхности [Сейсмологический ..., 2008; 2009]. Запись наиболее сильного землетрясения показана на рис. 5, а.

При сопоставлении спектрограмм новоднестровских землетрясений отмечена некоторая закономерность в изменении ЧМСП в объемной поперечной волне в зависимости от магнитуды [Андрущенко и др., 2010]. Спектрограмма землетрясения 18 ноября 2007 г. представлена на рис. 5, б.

Северо-восточнее очаговой зоны новоднестровских землетрясений станциями ГЦСК 17 марта 2008 г. зарегистрировано землетрясение с  $mb = 2,5$ .

В северо-западной части УЩ 12 марта 2006 г. произошло сейсмическое событие ( $mb = 3,4$ ), с установлением природы которого возникли трудности. Согласно критериям идентификации природы зарегистрированных событий [Андрущенко, Гордієнко, 2009], проявившаяся мощная поверхностная волна Рэлея характерна для взрыва, а максимум спектральной плотности в  $S$ -волне в частотной полосе 3—7 Гц свидетельствует о землетрясении. Длительность записи 3 мин опровергает предположение о взрывном происхождении события; кроме того, был слышен подземный гул вблизи одной из станций ГЦСК ("Зеленица"), расположенной на расстоянии 29 км от эпицентра.

Координаты эпицентра этого землетрясения ( $\varphi = 51^\circ \text{N}$ ,  $\lambda = 28,25^\circ \text{E}$ ), которые установлены по данным станций УСГ, расположенных на близких эпицентральных расстояниях ( $\Delta = 39—83$  км), и рассчитаны при использовании записей 12 удаленных станций ( $\Delta = 236—587$  км) [Сейсмологический ..., 2008], совпадают по широте и незначительно различаются по долготе ( $\approx$  на  $0,05^\circ$ ). Оценено значение магнитуды по записям удаленных станций меньше, чем по данным УСГ (подробнее это сейсмическое событие рассмотрено в работе [Андрущенко и др., 2010]).

Станциями УСГ также зарегистрированы слабые землетрясения, очаги которых расположены западнее границы УЩ — в одном из районов Вольно-Подольи. Эпицентры 16 из них ( $mb = 1,9 \div 2,7$ ) находятся в пределах площади  $\approx 50 \times 50$  км, в центре которой 3 января 2002 г. произошло землетрясение с  $MD = 3,6$  и интенсивностью сотрясений в эпицентре 6 баллов (подробные данные об этом землетрясении, сопровождавшемся серией афтершоков, представлены в работах [Кендзера та ін., 2002; Пронишин и др., 2004]). Запись одного из вольно-подольских землетрясений (31 марта 2006 г.) показана на рис. 6, а, спектрограмма — на рис. 6, б.

**Расположение очагов слабых землетрясений с точки зрения тектонических особенностей рассматриваемой части ВЕП.** В центральной части УЩ мегаблока земной коры (Ингулецкий и Среднеприднепровский) разделены шовной зоной, ограниченной разломами, с востока — Криворожско-Кременчугским, протяженность которого 275 км, ширина 7 км [Гинтов, 2004]. В районе этого регионального разлома находятся очаги двух землетрясений, магнитуда  $mb$  которых, в соответствии с данными каталога ГЦСК, не превышает значения 3,5. Подробнее тектоника и глубинное строение указанной части УЩ по данным ГСЗ описаны в работе [Кутас и др., 2009].

В западной части щита произошло 11 землетрясений с магнитудой  $\geq 2,0$ . По записи с/ст. "Малин" значение магнитуды  $mb$  одного из наиболее сильных землетрясений равно 3,4. Очаги землетрясений расположены в зонах мантийных разломов, девять из них — на юго-западном крае щита в Подольской зоне (ее длина 210 км, ширина — 12 км). Очаги двух землетрясений с  $mb = 2,5$  и 3,4 находятся в других зонах региональных разломов: Хмельникской (длина 350 км, ширина 8 км), в районе сочленения Винницкого и Бердичевского блоков земной коры, и Сарненско-Варваровской (длина 260 км, ширина 10 км). Размеры зон региональных разломов приведены в работе [Гинтов, 2004].

Очаги 16 землетрясений с  $mb = 1,9 \div 2,7$ , зарегистрированных на Вольно-Подольи, сосредоточены в небольшом объеме верхней части земной коры, нарушенном разломами неглубокого заложения [Карта ..., 1988]. В соответствии с расположением разломных зон, приведенных на схемах в работах [Гинтов, 2004; Гинтов, Пашкевич, 2004]), неглубокие нару-

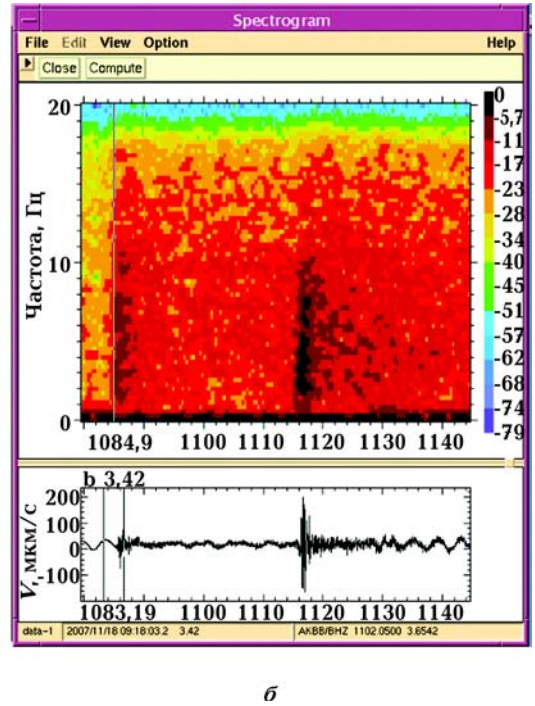
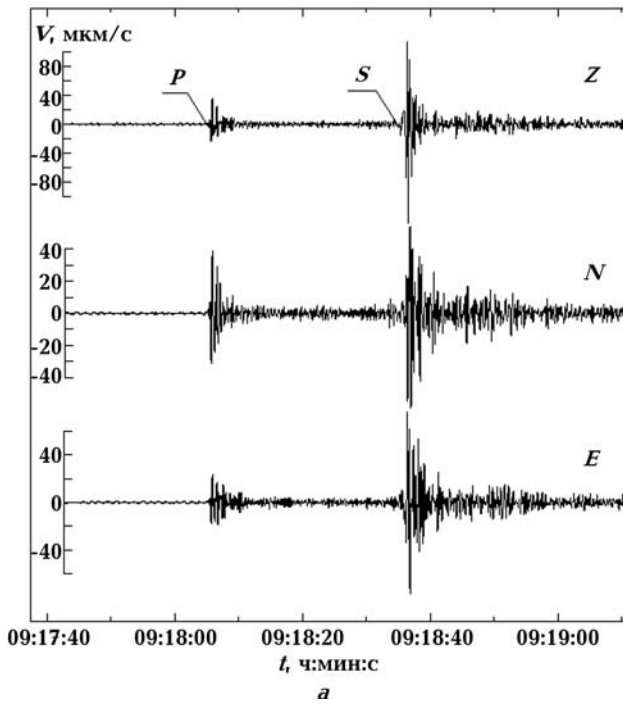


Рис. 5. Запись (а) и спектрограмма (б) землетрясения 18 ноября 2007 г.,  $m_b = 3,3$ , произошедшего в юго-западной части Украинского щита, зарегистрированного с/ст. "Малин".

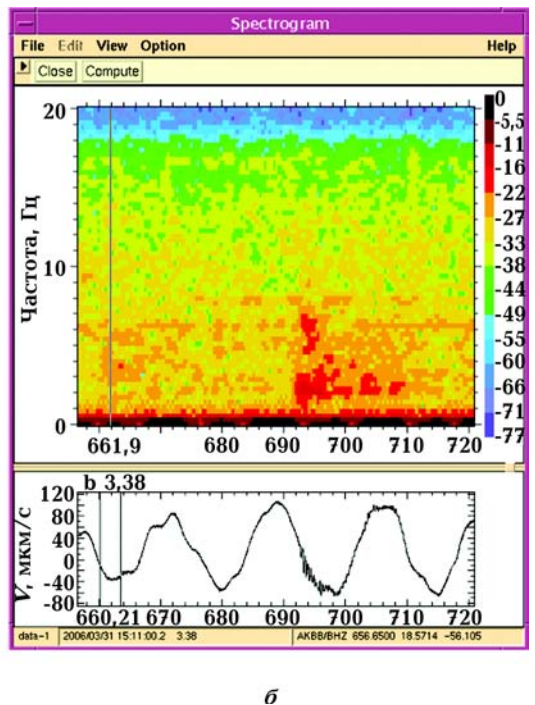
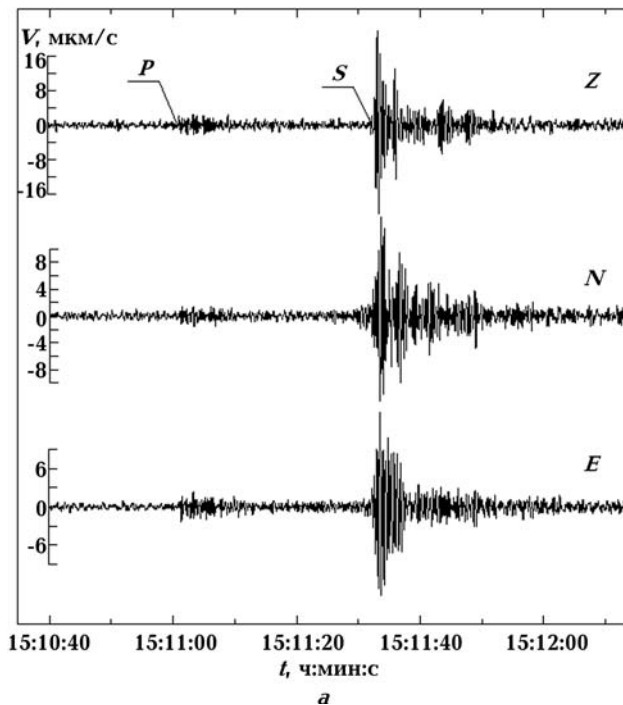


Рис. 6. Запись (а) и спектрограмма (б) землетрясения 31 марта 2006 г.,  $m_b = 2,2$ , зарегистрированного с/ст "Малин".

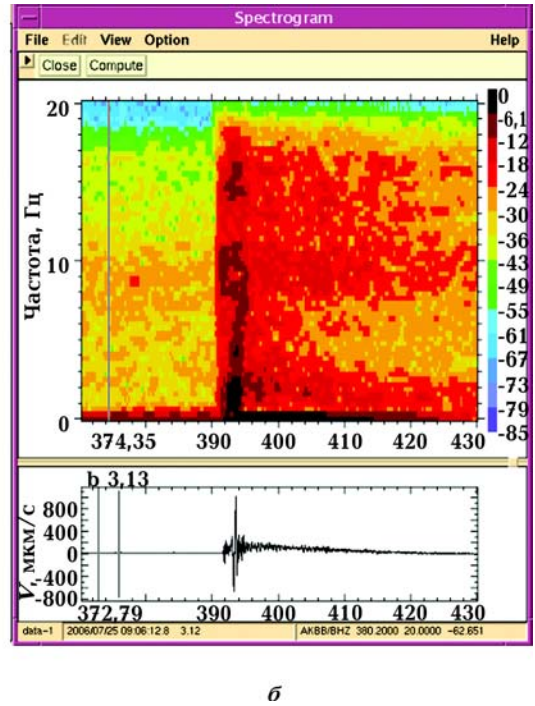
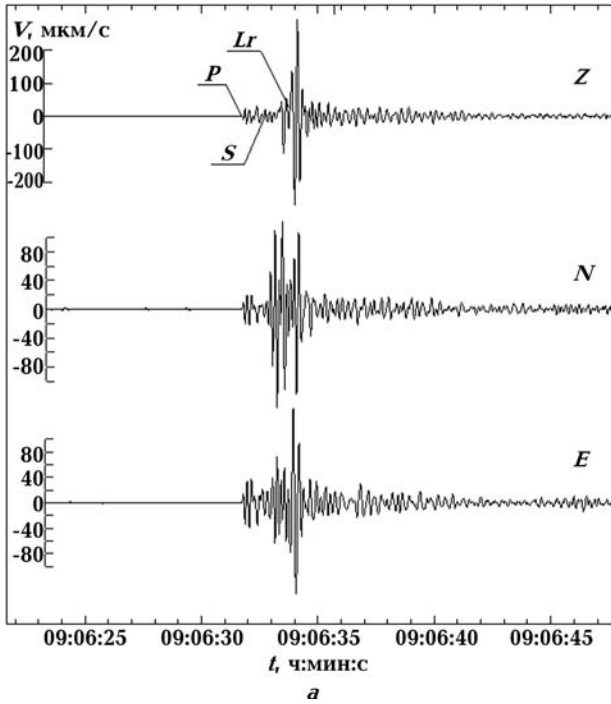


Рис. 7. Запись (а) и спектрограмма (б) промышленного взрыва 25 июля 2006 г., зарегистрированного с/ст. "Малин" (карьер вблизи с. Гранитное, Житомирская обл.).

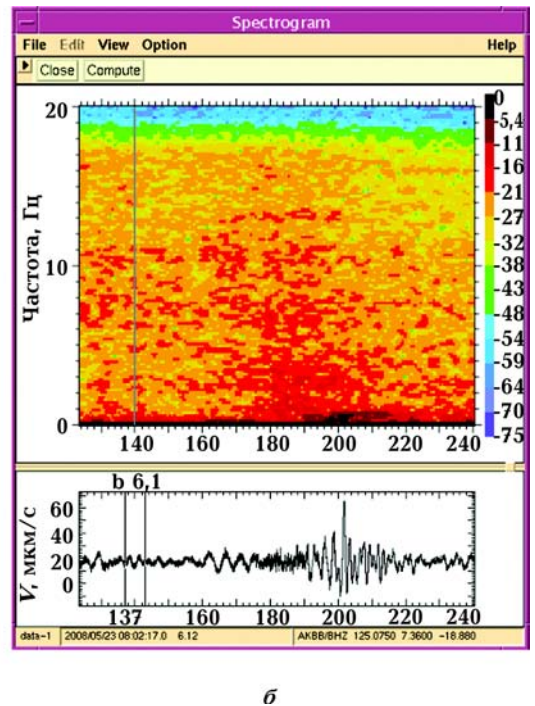
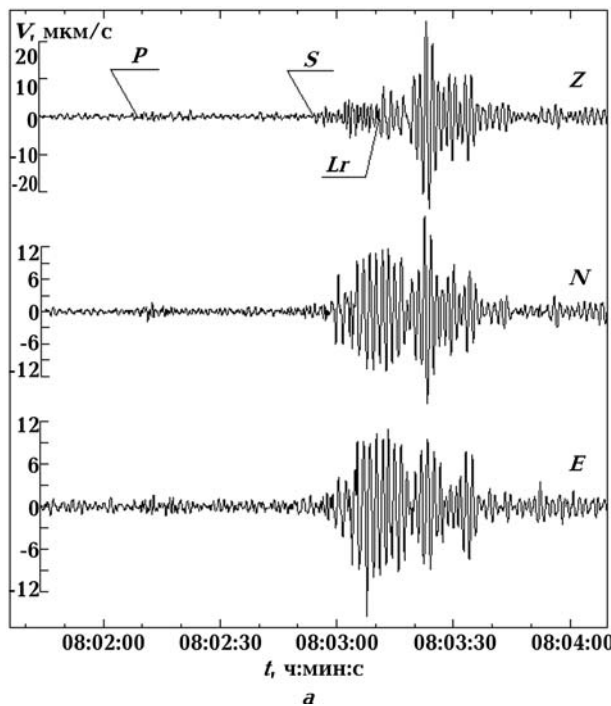


Рис. 8. Запись (а) и спектрограмма (б) промышленного взрыва 23 мая 2008 г., зарегистрированного с/ст. "Малин" (карьер "Ингулецкий", Кировоградская обл.).



шения, проявившиеся в пределах Вольно-Подоллии, могут рассматриваться как продолжение в верхнем слое земной коры зон мантийных разломов — Тетеревской и Суццано-Пержанской.

**Промышленные взрывы.** В течение рассматриваемого периода времени сейсмическими станциями ГЦСК зарегистрировано 9147 промышленных взрывов, произведенных в карьерах, которые расположены в широком интервале расстояний относительно станций УСГ (от 10 до 550 км) в разных областях Украины. Ближайшие к станциям карьеры находятся в Житомирской обл., наиболее удаленные — в Кировоградской, Днепропетровской и Запорожской областях. Взрывные работы с использованием мощных зарядов (массой до 1000 т) проводятся вблизи г. Кривой Рог. В связи с этим, несмотря на значительную магнитуду сейсмических событий ( $m_b = 3,5$ ), зарегистрированных в этом районе 25 декабря 2007 г. и 14 января 2011 г., возникали сомнения в отношении их тектонической природы.

Волновые формы и спектрограммы сейсмических событий, которые возбуждаются промышленными взрывами, — достаточно специфические. В структуре волнового поля преобладают низкочастотные составляющие. Для взрывов характерна высокая интенсивность колебаний в горизонтальной плоскости. Анализ записей волновых форм и спектрально-временных диаграмм показал, что основная часть сейсмической энергии, которая возбуждается взрывами, главным образом реализуется в виде колебаний в диапазоне частот 0,7—3,0 Гц. Отмечено, что сейсмический эффект относительно маломощных взрывов достаточно быстро затухает.

На рис. 7, а представлена запись промышленного взрыва 25.07.2006 г., произведенного в районе Коростенского плутона и зарегистрированного трехкомпонентной установкой УСГ (с / ст. "Малин"), которая находится на расстоянии 12 км от эпицентра взрыва. В структуре волнового поля основные составляющие — поверхностные волны. Спектрограмма взрыва показана на рис. 7, б.

При решении вопроса о природе возникновения сейсмических событий с  $m_b = 3,5$ , эпицентры которых находятся на большом расстоянии от станций ГЦСК в районе г. Кривой Рог, необходимо исключить предположение о том, что они вызваны мощными промышленными взрывами.

По данным, поступившим из Государственного комитета по промышленной безопасности, охране труда и горного надзора в ответ на запрос ГЦСК о проведении массовых взрывов в определенные даты, установлено следующее. На горных предприятиях г. Кривой Рог в период регистрации землетрясений 25 декабря 2007 г. и 14 января 2011 г. не проводись взрывные работы с применением мощных зарядов.

Относительно даты 13 июня 2010 г. представлены следующие сведения. В 4 ч 00 мин по Гринвичу в шахте им. Орджоникидзе ОАО "Центральный ГОК" проведен взрыв; масса заряда 64,6 т. Однако магнитуда сейсмического сигнала, зарегистрированного в это время станциями ГЦСК, существенно превышает значение, соответствующее взрывам с такой массой заряда. Сделано предположение, что сейсмическое событие с  $m_b = 3,5$  — следствие взрыва, вызвавшего обвал свода карьера, в результате которого произошло техногенное землетрясение. На записи с/ст. "Малин" максимальные значения скорости движения частиц в  $S$ -волне аналогичны отмеченным при землетрясении 14 января 2011 г. — 300 мкм/с (см. рис. 3, а и 4, а); значения магнитуд этих сейсмических событий — тектонического и техногенного землетрясений — совпали.

Изучение записей мощных взрывов и их спектрограмм (с учетом данных о датах проведения и привязке к указанным карьерам) позволило установить их отличия от сейсмических событий тектонического происхождения. Кроме того, выявлены различия в записях взрывов, произведенных в разных карьерах, обусловленные, по-видимому, особенностями в условиях подрыва, мощности заряда и в строении среды на пути от источника к пунктам регистрации.

При сравнении записей и спектров событий при взрывах с массой заряда 900—1000 т в карьерах "Ингулецкий" (рис. 8) и "Северный" обнаружено следующее (карьер "Ингулецкий", находится на расстоянии 352 км от с / ст. "Малин"). Спектр события в интервале записи  $S$ -волны находится в полосе частот до 15 Гц, причем в отличие от землетрясений не наблюдаются участки с максимумами спектральной плотности. На записи проявляется мощная поверхностная волна, амплитуда которой на вертикальной компоненте превышает амплитуду  $S$ -волны. В то же время при записи взрыва аналогичной мощности в карьере "Пер-

вомайский" поверхностная волна  $L_R$  практически отсутствует.

В результате анализа записей удаленных сейсмических событий установлено, что при взрывах с небольшой массой заряда, произведенных на расстояниях  $\geq 300$  км, вступления  $P$ -волны не выделяются на фоне помех; четко проявляется только цуг поверхностных волн. С уверенностью удастся установить время первых вступлений сейсмических сигналов лишь от достаточно мощных взрывов, в частности, при регистрации взрывов, произведенных в криворожских карьерах, если масса заряда составляла 900—1000 т.

Изучение различий в скорости смещения грунта на записях криворожских землетрясений и промышленных взрывов позволяет выделить еще один критерий идентификации природы зарегистрированных сейсмических событий. Амплитуды сигналов от землетрясений в десятки раз превышают амплитуды сигналов самых мощных взрывов (900—1000 т взрывчатого вещества (ВВ)). При использовании расчетной формулы для магнитуды промышленного взрыва получено, что в случае массы заряда около 1000 т ВВ значение  $M \approx 3,0$ . Данные инструментальных наблюдений, имеющихся на сегодня, позволяют отметить, что землетрясение происходит при возникновении достаточно больших напряжений в геологической среде; высвобождающаяся энергия значительна и величина  $M$  не меньше 3,0. Другими словами, при  $M > 3,0$  сейсмическое событие, зарегистрированное с/ст. ГЦСК на расстояниях  $\geq 350$  км, можно рассматривать как землетрясение.

При анализе записей взрывов, произведенных в карьерах, которые расположены на небольших расстояниях от станций ГЦСК, и спектрально-временных диаграмм установлено, что при взрыве спектр находится в полосе частот до 18 Гц; при землетрясении полоса частот более узкая — до 9 Гц. Максимум спектральной плотности при взрывах в интервале записи  $S$ -волн прослеживается в полосе частот 9—18 Гц. При регистрации промышленных взрывов, эпицентры которых находятся на достаточно большом удалении от пункта наблюдения, максимумы спектральной плотности на спектрограмме могут вообще отсутствовать (рис. 8, б).

Существует определенная зависимость спектрального состава колебаний от энергии взрыва и от свойств горных пород в районе эпицентра (акустической жесткости, пористости, влажности и др.) Увеличение акустической жест-

кости пород приводит к уменьшению периодов колебаний, возбуждаемых при подземном взрыве. Например, при взрывах в граните и соли возникают  $P$ -волны с периодами в 1,3—2,0 раза меньшими по сравнению с отмеченными при взрывах аналогичной мощности в аллювии. Увеличение мощности взрыва в 50—100 раз приводит к росту периодов в  $P$ -волне в 1,3—1,8 раза. Однако в целом изменения периодов волн  $P$  при подземных взрывах (по указанным выше причинам) не слишком значительные, а главное, они меньше, чем различия между периодами колебаний, наблюдающиеся при сейсмических событиях разной природы — взрывах и землетрясениях.

**Заключение.** При изучении сейсмоактивности в разных районах ВЕП необходимо анализировать происхождение слабых локальных сейсмических событий. Поскольку в пределах УЩ существует плотная сеть гранитных карьеров, следует исключить влияние на оценку уровня сейсмичности сигналов, зарегистрированных от взрывных источников. Кроме того, отметим, что в районах, где проводятся интенсивные горные работы, — Донбасс, Кривой Рог, Львовско-Волынский угольный бассейн и другие — происходят сдвиговые деформации. Границы распространения деформаций на поверхности зависят от глубины и площади выработок, а также от условий залегания пород и наличия тектонических нарушений. В таких районах происходят техногенные землетрясения в связи с нарушением геодинамического равновесия на больших участках земной коры.

Большое количество крупных промышленных карьеров и горнодобывающих предприятий сосредоточено в районе г. Кривой Рог. Обрушение горных пород и сводов карьеров может спровоцировать возникновение довольно сильных техногенных землетрясений. Одно из таких техногенных событий, произошедшее на 13 июня 2010 г., зарегистрировано на значительном удалении от эпицентра (430—530 км) сейсмическими станциями ГЦСК, расположенными в северо-западной части УЩ.

В связи со спецификой сейсмических событий, происходящих на платформе, необходимо не только распознавать единичные записи землетрясений среди тысяч зарегистрированных промышленных взрывов, но и определять природу землетрясений. Форма сейсмической записи и особенности спектрально-временных диаграмм — наиболее достоверные критерии идентификации природы сейсмических событий.

Приведенные результаты анализа записей и спектрограмм землетрясений — тектонических (25 декабря 2007 г. и 14 января 2011 г.) и техногенного (13 июня 2010 г.), а также взрывов следует использовать при установлении природы сейсмических событий. Полученный в ГЦСК материал необходимо учитывать при изучении сейсмичности не только УЩ, но и других районов платформы, где проводятся массовые взрывные работы, которые нарушают геодинамическое равновесие и вызывают изменение напряженного состояния верхней части земной коры. Основные этапы процедуры идентификации зарегистрированных сейсмических событий: разделение на промышленные взрывы и землетрясения; определение природы землетрясения (тектоническое или техногенное).

Установлены следующие характерные особенности записи и спектрограмм сейсмических событий разного происхождения.

**Тектонические землетрясения:** специфическая форма записи с плавно нарастающей и спадающей амплитудой объемных волн; наличие на сейсмической записи приочаговых отраженных волн (на спектрограммах эти фазы отображаются в виде вертикальных линий); амплитуда  $S$ -волны в несколько раз превышает амплитуду  $P$ -волны; максимум спектральной плотности в интервале записи  $S$ -волны находится в полосе частот 1—7 Гц.

**Техногенные землетрясения:**

- на сейсмической записи трудно выделить приочаговые отраженные волны;
- амплитуда поверхностной волны  $L_R$  на вертикальной компоненте записи соизмерима с амплитудой  $S$ -волны, что характерно для событий, гипоцентры которых находятся в приповерхностном слое земной коры ( $h < 5$  км).

**Промышленные взрывы:**

- уверенно выделяются и идентифицируются сигналы от мощных взрывов, в частности, произведенные в криворожских карьерах (масса заряда  $\approx 900 \div 1000$  т), зарегистрированных на расстояниях 400—550 км, и менее мощных в карьерах, расположенных ближе по отношению к с/ст. ГЦСК;
- спектр записи цуга  $S$ -волны находится в полосе частот до 15 Гц, причем, в отличие от землетрясений, максимумов спектральной плотности не наблюдается;
- амплитуда поверхностной волны на записи превышает амплитуду  $S$ -волны;
- при значении магнитуды  $mb < 3$  можно предполагать, что зарегистрированное событие является промышленным взрывом.

При определении природы землетрясения необходимо ориентироваться также на глубину очага; при значении  $h < 5$  км существует вероятность техногенного происхождения землетрясения.

Слабые тектонические землетрясения, зарегистрированные в 2005—2010 гг. на ВЕП, отражают современную активность некоторых зон разломов, которые находятся в центральной, северо-западной и юго-западной частях УЩ и на Волыно-Подоллии. Необходимо продолжить изучение сейсмичности платформы. Для надежного установления координат эпицентров землетрясений следует расширить сеть сейсмических станций. Не исключена вероятность возникновения в зонах региональных разломов и локальных разрывных нарушений в верхней части земной коры более мощных землетрясений с магнитудой, превышающей значение 3,5, установленное службой ГЦСК при изучении событий, зарегистрированных в исследуемый период времени.

## Список литературы

- Андрущенко Ю.А. Контроль промислових та аварійних вибухів на території України сейсмічними стаціями 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., 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.
- Гинтов О. Б. Зоны разломов Украинского щита. Влияние процессов разломообразования на формирование структуры земной коры // Геофиз. журн. — 2004. — **26**, № 3. — С. 3—24.
- Гинтов О.Б., Пашкевич И.К. Разломно-блоковая

- тектоника Вольно-Подоллии. Кинематический анализ // Геофиз. журн. — 2004. — 26, № 1. — С. 56—70.
- Годзиковская А.А. Местные взрывы и землетрясения. — Москва: Гидропроект, 1995. — 100 с.
- Карта разрывных нарушений и основных линейментов юго-запада СССР (с использованием материалов космических съемок) / Гл. ред. Н.А. Крылов. — 1 : 1 000 000. — Киев: Мингео СССР, 1988. — 4 л.
- Кендзера О. В., Вербицкий С. Т., Стасюк А. Ф., Пронишин Р. С., Гурова І. Ю. Землетрус 3 січня в Тереховлянському районі Тернопільської області // Вісн. КНУ. — 2002. — Вип. 23/24. — С. 106—109.
- Кутас В. В., Омельченко В. Д., Остроухова О. А. Эпицентры землетрясений на юго-западе Украины // Геофиз. журн. — 2005. — 27, № 6. — С. 962—969.
- Кутас В. В., Кендзера А. В., Омельченко В. Д., Дрогицкая Г. М., Калитова И. А. Проявления сейсмичности в XVIII—XX вв. и потенциально сейсмоопасные зоны в западной части Украины // Геофиз. журн. — 2006. — 28, № 4. — С. 3—15.
- 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.
- Маловичко А. А., Габсатарова И. П., Чепкунас Л. С., Старовойт О. Е. Инструментальные сейсмологические наблюдения на Восточно-Европейской платформе // 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: Рос. академия наук, Геофиз. служба, Карел. науч. центр, Ин-т геологии, 2007. — С. 14—66.
- Меметова Н. С., Пустовитенко Б. Г. Особенности динамических характеристик сейсмических волн промышленных взрывов и местных землетрясений Крыма // Сейсмологический бюллетень западной зоны ЕССН Украины и Молдовы за 1990 год. — Киев: Наук. думка, 1994. — С. 180—187.
- Надежка Л. И., Пивоваров С. П., Мехрюшев Д. Ю., Сафронич И. Н., Вторников Е. Ю. Южная часть Русской плиты // 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: Рос. академия наук, Геофиз. служба, Карел. науч. центр, Ин-т геологии, 2007. — С. 289—310.
- Пронишин Р. С., Вербицкий С. Т., Стасюк А. Ф. Микрулинецкое землетрясение 3 января 2002 года // Сейсмологический бюллетень Украины за 2002 год. — Симферополь, 2004. — С. 97—114.
- Пустовитенко Б. Г., Пустовитенко А. А., Капитанова С. А. Процессы в очаговой зоне Криворожского землетрясения 25 декабря 2007 г. // Сейсмологический бюллетень Украины за 2007 год. — Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. — С. 17—31.
- 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 года // Геофиз. журн. — 2010. — 32, № 2. — С. 75—97.
- Сейсмологический бюллетень Украины за 2005 год. — Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. — 204 с.
- Сейсмологический бюллетень Украины за 2006 год. — Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. — 296 с.
- Сейсмологический бюллетень Украины за 2007 год. — Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. — 143 с.
- Сейсмологический бюллетень Украины за 2008 год. — Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010. — 178 с.
- Скляр А. М., Князева В. С., Останин А. М. Макросейсмический эффект Криворожского землетрясения 25 декабря 2007 г. // Сейсмологический бюллетень Украины за 2007 год. — Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. — 143 с.