

## УДК 550.348

О.В. КЕНДЗЕРА<sup>1\*</sup>, В.В. КУТАС<sup>2</sup>, Ю.А. АНДРУЩЕНКО<sup>3</sup>, П.Г. ПІГУЛЕВСЬКИЙ<sup>4</sup>,  
Ю.В. ЛІСОВИЙ<sup>5</sup>

<sup>1\*</sup> Відділ сейсмічної небезпеки, Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, пр-т. Академіка Палладіна, 32, Київ, Україна, 03680, тел. +38(044) 423-81-43, E-mail: kendzera@igph.kiev.ua

<sup>2</sup> Відділ регіональних проблем геофізики, Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, пр-т. Академіка Палладіна, 32, Київ, Україна, 03680

<sup>3</sup> Головний центр спеціального контролю Державного космічного агентства України, смт. Городок, вул. Космічна, 1, Україна

<sup>4</sup> Відділ сейсмічної небезпеки, Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, пр-т. Академіка Палладіна, 32, Київ, Україна, 03680, тел. +38(044) 424-29-44

<sup>5</sup> Відділ сейсмічної небезпеки, Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, пр-т. Академіка Палладіна, 32, Київ, Україна, 03680

## СЕЙСМІЧНІСТЬ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА У ПЕРІОД З 2007 ПО 2013 РОКИ

**Мета.** Метою досліджень є виконання порівняльного аналізу форм записів та спектрограм землетрусів і вибухів в кар'єрах і шахтах, розташованих в межах Криворізького залізничного басейну (Кривбас) для встановлення ознак сейсмічних подій різної природи цього регіону з  $M_b \geq 3,0$ . **Методика.** За літературними джерелами проаналізовано питання впливу зовнішніх факторів на виникнення локальних землетрусів на платформній території Західно-Інгулецько-Криворізько-Кременчуцької шовної зони, яка є джерелом сейсмічності в центральній частині Українського щита. Виконано аналіз та синтез накопичених протягом 2009 – 2013 рр. в Інституті геофізики НАН України та Головному центрі спеціального контролю даних про місцеві сейсмічні події в районі м. Кривий Ріг з метою встановлення їх природи. Розглянуто тектонічні особливості структури земної кори центральної частини Українського щита за результатами геологічних та геофізичних досліджень та буріння Криворізької надглибокої свердловини НГ-8. **Результати.** Показано, що записи землетрусів 25 грудня 2007 р., 14 січня 2011 р. та 23 червня 2013 р. є подібними між собою і, за деякими ознаками, відрізняються від записів вибухів. Зіставляючи сейсмограми і спектрограми цих трьох подій, виявлено лише незначну різницю в амплітуді  $L_R$ -хвилі на NS-компоненті, яка, можливо, спричинена різною глибиною їх вогнищ. **Наукова новизна.** Встановлені ознаки сейсмічних подій різної природи дають змогу виділяти тектонічні землетруси на фоні техногенних і сейсмічних подій техногенно-природного характеру. **Практична значущість.** Попередні результати показують, що першочерговими кроками слід передбачити негайний розвиток моніторингової мережі сейсмічних спостережень, здатних телесеісмічними методами локалізувати райони сучасної активізації тектонічних структур, які супроводжуються землетрусами різної величини і сейсмічною емісією. Створена мережа дозволить вживати спеціальні заходи зі стабілізації геологічного середовища і розробити науково обґрунтовані способи видобутку залізної руди із забезпеченням їх ефективності та рентабельності, що дасть можливість мінімізувати майбутні катастрофічні наслідки від порушення еколого-геологічної обстановки.

*Ключові слова:* тектоніка, структура, розлом, землетрус, вибух, сейсмічний запис, спектрограма.

### Вступ

Питанню впливу зовнішніх факторів на виникнення локальних землетрусів, зокрема на платформних територіях, присвячено низку робіт. Дані про спостереження і дослідження в цьому напрямку, які проводилися протягом тривалого періоду часу, наведено в роботах [Гуфельд І.А., 2007; Гуфельд І.А., Матвеева М.І., 2011; Мирзоев К.М. і др., 1987, 2009; Николаев А.В., 1973, 1994; Кендзера А.В. і др., 2007; Андрущенко Ю.А. і др., 2011, 2013] та в інших. У них показано зв'язок місцевої сейсмічності, встановленої в зонах тектонічних порушень земної кори, з проведенням масових промислових вибухів в кар'єрах, змінами рівня води у водосховищах ГЕС і ГАЕС під час їх заповнення та скидання, а також з іншими факторами.

### Мета

За останні 20 років серед сейсмічних регіонів України опинилася територія Криворізької (Сакаганської) структури, де протягом півтора століт-

тя видобувають залізну руду. Питання відносно природи землетрусів за останні роки остаточно не з'ясовані. Не має відповіді на питання про походження землетрусів 25 грудня 2007 р. і 14 січня 2011 р. – техногенне, техногенно-тектонічне чи суто тектонічне. Сумніви дослідників пов'язані з тим, що ці сейсмічні події виникли в ранковий час доби, коли проводяться найпотужніші вибухи в шахтах. Відзначимо, що даних відносно проведення вибуху о 04 годині (UTC) 25 грудня 2007 р. немає. Інформація з приводу вибуху 14 січня 2011 р. о 05 годині (UTC) не однозначна. Підставою для припущення про тектонічну природу цих землетрусів в районі м. Кривий Ріг став останній, який відбувся вночі 23 червня 2013 р. в 21 год. 16 хв. (UTC), а також дані про механізм землетрусу 25 грудня 2007 р. [Кендзера А.В. і др., 2012]. Крім того, записи сейсмічних подій 25 грудня 2007 р., 14 січня 2011 р. та 23 червня 2013 р. ідентичні і відрізняються від записів

вибухів. При зіставленні сейсмограм і спектрограм трьох землетрусів виявлено лише незначну різницю в амплітуді  $L_R$ -хвилі на N-компоненті, яка можливо пов'язана з різною глибиною розташування їх вогнищ.

Тому метою досліджень є виконання аналізу накопичених протягом 2009–2013 рр. Інститутом геофізики НАН України та Головним центром спеціального контролю (ГЦСК ДКАУ) даних про місцеві сейсмічні події в районі м. Кривий Ріг для встановлення ознак сейсмічних подій різної природи даного регіону з  $M_b \geq 3,0$ .

#### **Методика робіт**

Отримання адекватної інформації про місцеві сейсмічні події можливо тільки при комплексному підході в аналізі та синтезі питань впливу зовнішніх тектонічних факторів на виникнення локальних землетрусів в центральній частині Українського щита (УЩ).

#### **Тектонічні особливості структури земної кори центральної частини Українського щита.**

До центральної частини УЩ більшість геологів відносить Інгульський (Кіровоградський) мегаблок, котрий з заходу обмежується Західно-Інгулецько-Криворізько-Кременчуцькою шовною зоною (ЗІККШЗ) [Азаров Н.Я. и др., 2006]. Остання є джерелом сейсмічності в центральній частині УЩ. Вона складається з трьох структурно-формаційних зон: – Західно-Інгулецької (Кіровоградської), яка прилягає зі сходу до Інгульського мегаблока; – Інгулецько-Криворізької, розташованої між Криворізько-Кременчуцьким і Інгулецьким розломами; – Криворізько-Кременчуцької, західною границею якої є Криворізько-Кременчуцький глибинний розлом; частина якого в межах Кривбасу має назву Західного розлому [Державна, 2002]. Криворізько-Кременчуцька зона розломів має довжину 275 км, ширину – 7 км [Гинтов О.Б., 2004]. До неї приурочена Криворізько-Кременчуцька структурно-формаційна зона, яка перетинає УЩ в меридіональному напрямку, достатньо добре вивчена, оскільки в її межах знаходиться найбільший в Європі докембрійський залізорудний басейн (Криворізький та Кременчуцький).

За геолого-тектонічними даними ЗІККШЗ і Середньопридніпровський мегаблоки УЩ розділені Центрально-Криворізьким насувом, фрагментами якого можуть бути Криворізька та Кременчуцька структури. Між Криворізьким та Кременчуцьким синкліноріями повздовж глибинного розлому простежуються фрагменти складчастих структур, складених неповними розрізами криворізької серії.

Криворізький синклінорій має складну внутрішню будову. Тут виділяються синклінальні та антиклінальні складки високих порядків. Шарнір синклінорію занурюється в північному напрямку, максимальна глибина структури встановлена в районі рудників ім. ХХ Партз'їзду та

ім. Р. Люксембург – 7–7,5 км (разом з підстеляючими породами сурської світи). Східне крило синклінорію складене повним розрізом криворізької серії, західне – зрізане Криворізько-Кременчуцьким глибинним розломом та субмеридіональним розломом, котрий проходить на 1,5 км східніше. Складність внутрішньої будови структури, напевне, пояснюється наявністю тут древньої зони субдукції, що підкреслюється потужною зоною протяжних сейсмічних площадок, які падають в низах кори на схід під кутами 45–40° та потовщенням літосфери під цією зоною. М.П. Семененко виділяв в цьому районі чотири деформаційні цикли. Він вважає, що перший цикл пройшов до накопичення гданцівської та глеєватської світ, що добре пояснюється, враховуючи крупну перерву, яка тут фіксується після нагромадження відкладів скелюватської та саксаганської світ. У першому циклі була сформована ізоклінальна складчастість, в другому – відкриті складки, в третьому – на субмеридіональні структури перших двох була накладена поперечна складчастість. З четвертим циклом пов'язано утворення блоків, насувів та розломів.

#### **Глибинна будова району за результатами геофізичних досліджень сейсмічними та електричними методами.**

Криворізько-Кременчуцький глибинний розлом майже на всьому своєму простяганні дуже добре фіксується даними магнітотелуричного зондування (МТЗ) як субвертикальний провідник. Він також відділяє утворення з вищою провідністю, які знаходяться на захід від неї, від високоомних (до 10 000 Ом·м) – на сході. Аналіз карт магнітних параметрів середовища дозволяє говорити про наявність в зоні розлому протяжного субмеридіонального провідника. Для всіх точок МТЗ, які знаходяться в зоні розлому, відзначається подібна форма кривих уявного опору з розходженнями на 1–2 порядки широтної та меридіональної кривих, при цьому, у порівнянні з іншими ділянками, меридіональна крива – опущена, а широтна – припіднята.

Дані методу спільної глибинної точки (МСГТ) (сейсмічний профіль 02-88 СГТ, розташований на південь від м. Кривий Ріг) показує західне падіння розлому. Він трасується через всю кору по зміщенню відбиваючих елементів [Бородулин М.А. и др., 1992] і зміні петрологічного складу в низах кори (за даними геогустинного моделювання гравітаційного поля). Його кути падіння змінюються від 75–80° біля поверхні фундаменту, з різким виположенням в низах кори до 45–55° і, вірогідно, вони приводять до локального занурення поверхні Мохоревичича (Мохо).

Криворізько-Кременчуцький розлом дуже добре виражається як у геофізичних полях, так і на космоаерофотознімках. Він є одним із

найбільших за протяжністю на УЩ. На всьому своєму простяганні розлом по-різному відбивається в поверхні Мохо. Ізолінії глибин її залягання переважно збігаються з розломом, за винятком центральної частини П'ятихатської антиформи. На захід від Криворізько-Кременчуцького розлому, до його перетину з Девладівським, відзначається мантийний жолоб з глибинами занурення до –50 км і більше. По зоні розлому поверхня Мохо опущена з –32–35 км, на заході від нього, до –52–55 км – на сході. Час закладення розлому неoarхей – палеопротерозой. Він підновлювався неодноразово аж до теперішнього часу (відзначається, що західний блок піднімається по розлому із швидкістю 10 і більше мм у рік).

Повздож профілю глибинних сейсмічних зондувань (ГСЗ) Путивль-Кривий Ріг [Профіль ГСЗ... 1992; Кутас В.В., и др., 2013, Thybo Н. Et al, 2003], який під гострим кутом перетинає Криворізько-Кременчуцький розлом, простежені крупні близько ортогональні до нього розломи, виділені за різкими зміщеннями сейсмічних горизонтів, змінами розшарування кори та іншими ознаками. Більшість розломів перетинають земну кору та корелюються із зонами порушень, зображеними на тектонічних картах, побудованих за геологічними даними. Узагальнення сейсмічних матеріалів, одержаних різними методами, дає змогу припустити, що виявлені різкі перепади глибин поверхні  $K_2$  і границі Мохо імовірно свідчать про наявність тектонічного вузла в районі контакту Інгульського мегаблока з ЗІККШЗ.

**Тектонічні зони розкриті під час буріння Криворізької надглибокої свердловини НГ-8.** під час буріння свердловини [Криворожская ..., 2011] виникали аварії в інтервалі глибин 3612–3630 та 3816–3850 м, які пов'язують із наявністю потужних тектонічних зон – систем по-різному зорієнтованих щілин, вздовж яких відбувалося обрушення порід під час буріння. Результати дослідження великого об'єму обрушеної маси порід, їх складу і форми шламу розміром 10–14 см, свідчать про напружений стан гірського масиву. У головному стовбурі свердловини НГ-8 встановлено 26 тектонічних зон завширшки від 5 до 15 см. Більшість зон руйнування знаходилася в інтервалі глибин 3600–3850 м, де відкриті щілини становили 40 % від загальної кількості (в інших зонах – до 5 – 20 %).

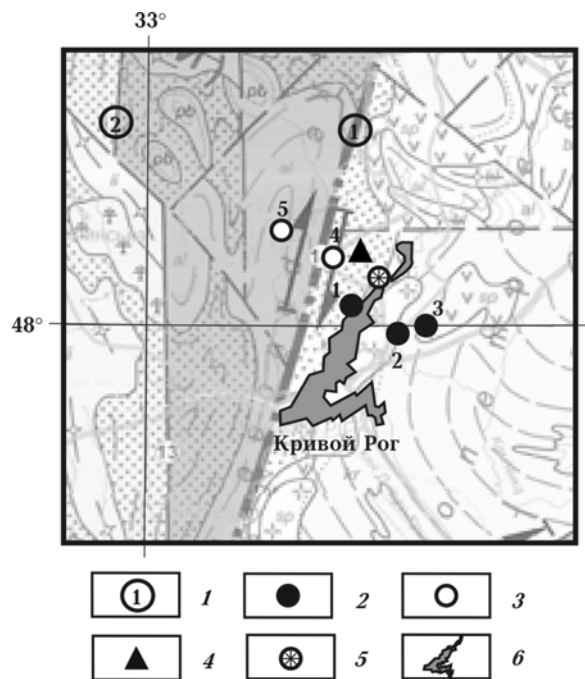
На більших глибинах (до 5380 м) також були виявлені зони інтенсивного катаклазу – подрібнення і напруженого стану геологічного середовища, пов'язані з Тарапаківським насувом. На цих глибинах відзначено інтенсивне утворення пустот (до 8–12 см), які спричиняли обрушення ствола свердловини. (Буріння СГ-8 було припинено на глибині 5430 м).

За результатами буріння було зроблені висновки щодо аварійних ситуацій під час проходження свердловини призвели круте падіння

порід (58 – 80°) та наявність сучасних тектонічних деформацій, які формують ділянки і зони напруженого та розвантаженого стану. Зони розвантаження є потужними розривними тектонічними порушеннями. Напружені ділянки мають різні розміри, частіше зустрічається розподіл напружень асиметричного типу – поступове її зростання в одному з інтервалів і різке зниження в кінці ділянки [Мечников Ю.П., 2011].

**Результати робіт**

У районі м. Кривий Ріг протягом останніх двох десятиріч років відзначаються сейсмічні прояви з магнітудою понад 3,0. Дані про сейсмічні події високого рівня ( $m_b = 3,7 - 3,9$ ), які відбувалися в цьому районі, наведено в каталогах Міжнародного центру даних (IDC) за 2000 – 2002 рр. Магнітуда сейсмічних подій, що відбулися 2006 р. в районі Криворізько-Кременчуцької зони розломів, згідно з наведеними в каталогах цього центра даних, не перевищувала значення 3,0 (рис. 1).



**Рис. 1.** Розташування в районі м. Кривий Ріг епіцентрів землетрусів, свердловини СГ-8 та шахт, яке зображене на карті

[Тектонічна, 2007]: 1 – порушення земної кори (1 – Криворізько-Кременчуцьке I-го рангу; 2 – Західно-Інгулецьке II-го рангу); 2 – епіцентр землетрусу 25 грудня 2007 р. за різними даними (1 – [Скляр и др., 2009], [Кендзера и др., 2012], 2 – [Пустовитенко и др., 2010], 3 – каталог ГЦСК); 3 – епіцентр землетрусу 14 січня 2011 р. за даними каталогів (ГЦСК, EMSC); 4 – свердловина СГ- 8; 5 – розташування шахт та епіцентру землетрусу 23 червня 2013 р.; 6 – контур м. Кривий Ріг

Землетрус, який відбувся 25 грудня 2007 р. в м. Кривий Ріг, зареєстрували 68 сейсмічних станцій, розташованих в інтервалі епіцентральної відстаней до 7400 км. За первинними даними магнітуда землетрусу  $m_b = 3,8$  (IDC) або 4,0 (MOS). У зв'язку з тим, що епіцентр землетрусу знаходиться в Криворізько-Кременчуцькій зоні глибинних розломів, зроблено припущення про тектонічну природу сейсмічної події [Кутас В.В. и др., 2009, Jeffreys Н., Bullen К.Е., 1940, Kennett В.Л.Н., 1991]. За даними аналізу записів на станціях Головного центру сейсмічного контролю (ГЦСК) значення магнітуди землетрусу дорівнює 3,5. За остаточними даними, визначеними з використанням усіх записів землетрусу станціями, розташованими на різних відстанях від епіцентра та в широкому створі азимутів, значення  $m_b = 3,9$  [Кендзера А.В. и др., 2012].

За особливостями хвильової картини на записах станцій, які знаходяться на різних відстанях і різних напрямках від епіцентра землетрусу, зроблено висновки про механізм тектонічного процесу в районі його вогнища. Встановлено, що відбувся підкид крила розлому під дією стискаючих напружень горизонтального напрямку [Пустовитенко Б.Г. и др., 2010, 2011].

При подальшому уточненні тип механізму вогнища визначено як лівобічний підкид-зсув по найбільш імовірній площині розриву крутого падіння, направленої вздовж розлому діагональної орієнтації. Зроблено припущення, що рух по розриву відбувався з південного сходу на північний захід. Землетрус був результатом дії горизонтальних сил стискання, орієнтація яких є близькою до широтної [Пустовитенко Б.Г. и др., 2010].

За іншими даними, типом механізму вогнища землетрусу є суто скид з невеликими компонентами зміщень, як наслідок майже горизонтального розтягання геологічного середовища у східному напрямку [Кендзера и др., 2012]. Тобто, існують різні думки стосовно руху геологічного середовища (вказано протилежні напрямки руху за широтою), а також відносно типу сили – в одній з публікацій говориться про стискання середовища, в іншій – про розтяг. В значеннях координат епіцентру і глибини вогнища в згаданих роботах, існують лише невеликі розбіжності, а в магнітудних оцінках – істотні:  $m_b = 3,0$  і  $3,9$ .

Дані про землетруси в районі м. Кривий Ріг, що відбулися в останні роки, наведені в табл. 1 і 2. Значення магнітуди землетрусів наведені за даними розрахунків, зроблених по записах станцій ГЦСК.

Таблиця 1

Дати та параметри землетрусів у центральній частині УЩ в 2010 – 2013 рр.

Дата			Час			Координати гіпоцентру			Магнітуда
Рік	м	д	год.	хв.	сек.	$\varphi$ , °N	$\lambda$ , °E	h, км	$m_b$
2010	06	13	03	58	17	48.02	33.35	0	4.3
2011	01	14	05	03	12	48.10	33.40	10	3.5
2013	06	23	21	16	33	48.08	33.50	10	4.5

**Землетрус 13 червня 2010 р.** Цей землетрус є наслідком проведення вибухових робіт на шахті ім. Орджонікідзе (ВАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат»), тобто має техногенне походження. Вибухові роботи проводились на глибині 447 м; еквівалент вибухівки відповідає 64 т; відбулося руйнування земної поверхні на значній території – близько 16 га глибиною від 10 до 80 м. Значення магнітуди  $m_b$  за даними ГЦСК та за оцінками, зробленими по записах мережі с/ст. Криму і наведеними в роботі [Свидлова В.А., Бондарь М.Н., 2011], розходяться (табл. 2). (Результати обробки записів землетрусів, зареєстрованих мережею с/ст. ГЦСК, в каталогах даних міжнародних сейсмологічних центрів, а також в табл. 2–3 подані з позначенням AKASG).

Запис та спектрограма сейсмічної події 13 червня 2010 р., яка спричинила обвали великих ділянок поверхні, за даними IDC (Міжнародного центру даних) зареєстрована в інтервалі відстаней до 9308 км. За формою хвильової картини і спектраль-

ним складом ця подія відрізняється від потужних вибухів в шахтах і від землетрусів (рис. 2 і 3).

**Землетрус 14 січня 2011 р.** Параметри землетрусу за даними різних сейсмологічних центрів (за винятком визначень по записах с/ст. Криму) близькі між собою, розбіжності в координатах розташування епіцентру не дуже значні (табл. 3). Істотніші розбіжності проявилися в розрахованому часі виникнення процесу у вогнищі ( $t_0$ ), а також у визначеному значенні глибини розташування вогнища (в межах 0–30 км).

Відносно природи землетрусу сьогодні залишається деяка невизначеність, з огляду на те що, як і землетруси 25 грудня 2007 р. та 13 червня 2010 р., він відбувся в період доби, коли зазвичай проводяться потужні вибухи в шахтах, а саме, о 4–5 год часу за Гринвічем, тобто о 6–7 год за місцевим. Землетрус 14 січня 2011 р., як і два попередніх, проявився в макросейсмічному полі з інтенсивністю струшувань у епіцентрі в 5 балів [Скляр А.М., Князева В.С., 2012].

Таблиця 2

**Дані про епіцентр, глибину і магнітуду землетрусу 13 червня 2010 р.**

$t_0$ , год. хв. с	$\varphi$ °N	$\lambda$ °E	h, км	Магнітуда	Джерело даних
03 58 17,0	48,10	33,40	0	$m_b = 4,3$	AKASG
03 58 07,7	47,82	33,17	0	$m_b = 3,4$ $MS = 3,8$ $MD = 4,1$	с/ст. Криму

Таблиця 3

**Дані про епіцентр, глибину і магнітуду землетрусу 14 січня 2011 р.**

$t_0$ , год. хв. с.	$\varphi$ °N	$\lambda$ °E	h, км	Магнітуда	Центр даних
05 03 12,95	47,95	33,330	0	$m_b = 3,7$	IDC
05 03 16,30	48,05	33,384	30	$m_b = 3,9$	CSEM
05 03 15,80	48,00	33,030	0	$M = 3,9$	PRU
05 03 12,00	48,10	33,400	10	$m_b = 3,5$	AKASG
05 03 14,30	48,06	33,345	24	$mb = 4,0$	MOS
05 03 16,20	47,80	33,180	5	$MS = 3,6$	с/ст. Криму
середнє значення: 05 03 14,27	47,99	33, 278	10,5	$m_b = 3,8$	

Таблиця 4

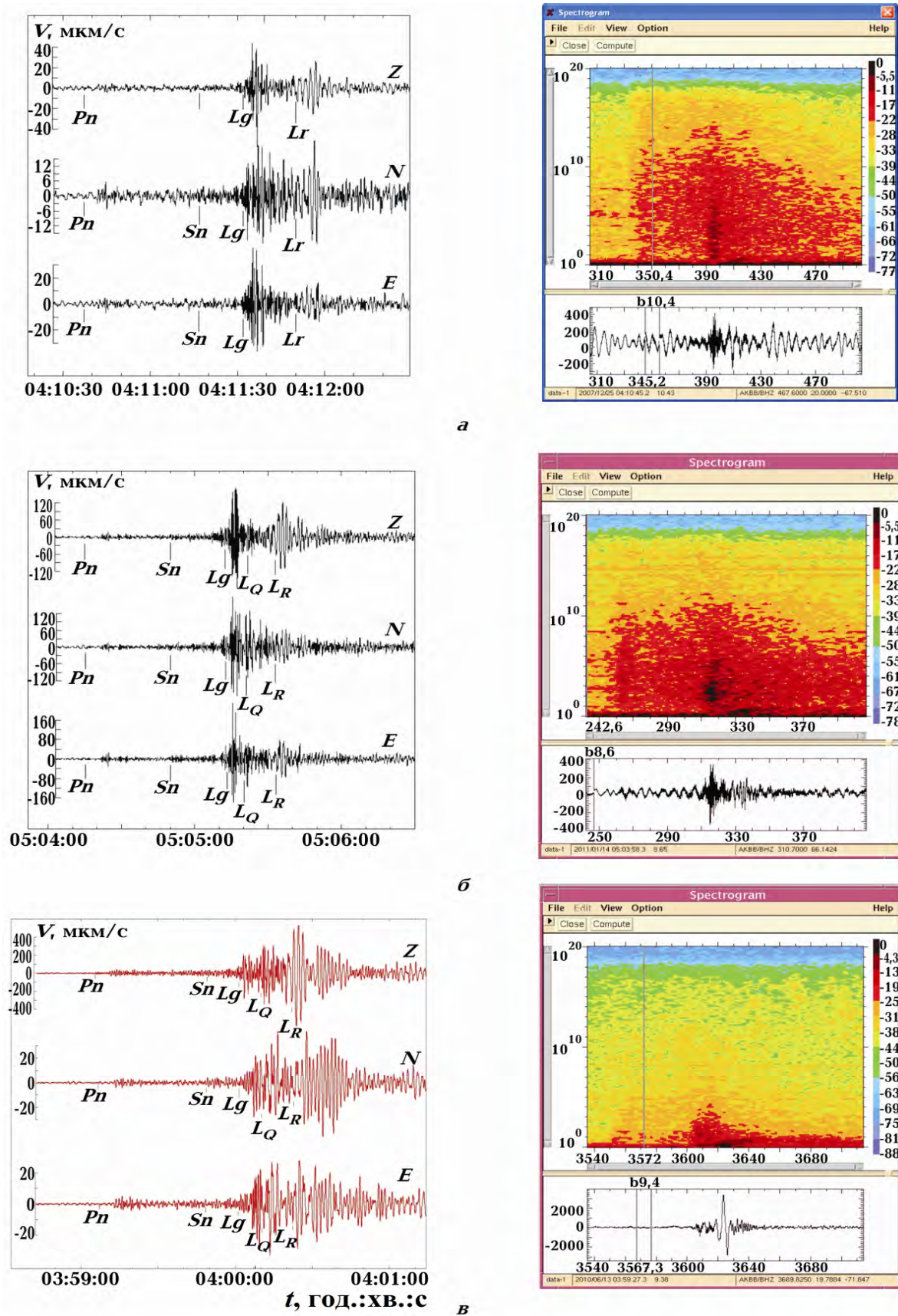
**Оперативні дані сейсмологічних центрів про землетрус 23 червня 2013 р.**

$t_0$ , год. хв. сек.	$\varphi$ °N	$\lambda$ °E	h, км	Магнітуда	Центр даних
21 16 34,1	48,05	33,54	10	$ML = 4,9$	BUC
21 16 35,2	48,05	33,37	14	$m_b = 4,5$	NEIC
21 16 34,0	48,19	33,43	10	$ML = 4,5$	GFZ
21 16 33,0	48,08	33,50	10	$m_b = 4,5$	AKASG
21 16 33,0	48,12	33,45	2	$m_b = 4,6$	INFO
21 16 32,8	48,01	33,37	15	$m_b = 4,7$	GSRC
21 16 33,5	48,20	33,60	20	$ML = 5,0$	BGSG
середнє значення: 21 16 33,67	48,10	33,47	11,6	$m_b = 4,6$ $ML = 4,8$	

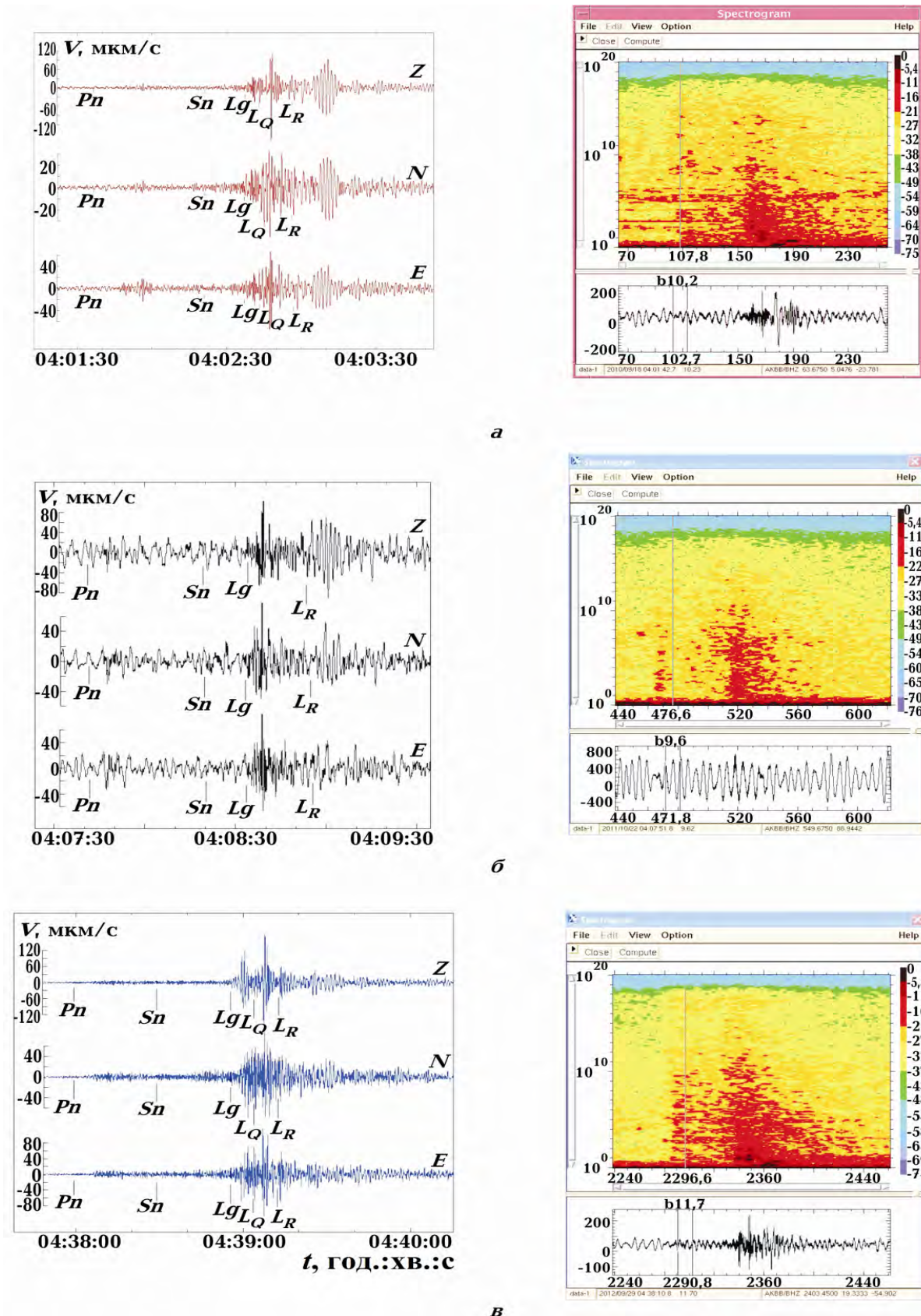
Таблиця 5

**Координати шахт у м. Кривий Ріг та глибина проведення вибухових робіт в 2010–2011 рр.**

Дата	Час вибуху (год. хв. с)	$m_b$	Шахта	Маса заряду	Глибина закладання заряду	Координати шахт	
						$\varphi$ °N	$\lambda$ °E
13.06.2010	03 58 17	4,3	ім. Орджонікідзе	65 т	447м-527 м	48,0825	33,5014
18.09.2010	04 00 35	3,3	ім. Орджонікідзе	125 т	447м-527 м	48,0825	33,5014
14.01.2011	05 03 12	3,5	ім. Леніна	36 т	1200-1300 м	48,0824	33,5083
26.06.2011	04 04 30	3,0	ім. Орджонікідзе	50 т	447м-527 м	48,0825	33,5014
22.10.2011	04 06 45	3,1	Гвардейська	60 т	1200-1270 м	48,0596	33,4859
31.03.2012	04 00 42	3,0	Гвардейська	46 т	1200-1270 м	48,0596	33,4859
17.06.2012	04 03 16	3,0	ім. Леніна	27 т	1270-1300 м	48,0824	33,5083



**Рис. 2.** Записи та спектрограми (с/ст. «Малин», смуга частот 0,5 – 2,0 Гц) землетрусів:  
 а – 25 грудня 2007 р., 04 год. 09 хв. 31 с,  $m_b = 3,3$ ; б – 14 січня 2011 р., 05 год. 03 хв. 12 с,  
 $m_b = 3,5$ ; в – 13 червня 2010 р., 03 год. 58 хв. 17 с,  $m_b = 4,3$



**Рис. 3.** Записи та спектрограми (с/ст. «Малин»), смуга частот 0,5 – 2,0 Гц промислових вибухів в шахтах:

- a* – 18.09. 2010 р., 04 год. 00 хв. 35 с,  $m_b = 3,3$  (глибина 447–527 м, еквівалент заряду 125 т ВР);
- б* – 22.10.2011 р., 04 год. 06 хв. 45 с,  $m_b = 3,1$  (глибина 1200–1300 м, еквівалент заряду 60 т ВР);
- в* – 29.09.2012 р., 04 год. 38 хв. 00 с,  $m_b = 3,4$  (глибина 1200–1300 м, еквівалент заряду 65 т ВР)

Інформація, одержана на запити відносно проведення вибухів в час виникнення землетрусу 14 січня 2011 р., є неоднозначною. Відділу сейсмології Криму було надано відомості про те, що в шахті ім. Орджонікідзе в районі епіцентру землетрусу були проведені вибухові роботи з використанням невеликої маси заряду (еквівалент 4,8 т). При такому заряді вибух не зміг би призвести до струшування земної поверхні з інтенсивністю в 5 балів.

Тому зроблено припущення, що цей вибух міг бути пусковим механізмом для виникнення землетрусу [Бондарь М.Н., 2012; Скляр А.М., Князева В.С., 2012]. За інформацією, одержаною у відповідь на запит ГЦСК, стало відомо, що о 05 год 03 хв. 14.01.2011 р. в шахті ім. Леніна був проведений вибух на глибині 1200–1300 м (загальна маса заряду 36 т). Вибух такої потужності імовірно міг спровокувати виникнення землетрусу з інтенсивністю струшування 5 балів в епіцентрі.

**Землетрус 23 червня 2013 р.** Існує припущення що час доби, в якому зареєстрована сейсмічна подія, деякою мірою вказує на її походження. Тому при аналізі записів сейсмічних подій в районі Криворізької залізородної структури зверталася увага на час виникнення сейсмічного процесу у вогнищі. Походження землетрусів 25 грудня 2007 р. та 14 січня 2011 р. продовжує обговорюватися, в той час як відносно землетрусу 23 червня 2013 р. не виникає сумнівів у його тектонічній природі.

Це пов'язано з такими факторами. По-перше, землетрус відбувся вночі – в 00 год. 16 хв. за Київським часом (з 23 на 24 червня 2013 р.) і в Державному Комітеті України по промисловій безпеці, охороні праці і гірничому нагляду заперечують факт проведення будь-яких вибухових робіт на підприємствах Кривого Рогу в такий час доби. По-друге, за даними різних сейсмологічних центрів значення магнітуди цього землетрусу знаходиться в межах 4,5–4,7 (табл. 4) в той час як при інших значення  $m_b$  була значно нижчим – 3,5–4,0. По-третє, при вивченні хвильової картини землетрусу 23 червня 2013 р. на запису станції «Малин» (рис. 4) виділено час реєстрації вступу хвилі  $pP$ , згідно з яким встановлено що вогнище цієї події знаходиться на глибині 10 км.

У зв'язку з тим, що сейсмічні станції мережі ГЦСК відносно епіцентру землетрусу знаходяться в вузькому інтервалі відстаней (435–520 км) та в невеликому діапазоні азимутів (280–315°), в даний час проводиться збір записів землетрусу 23 червня 2013 р. станціями, розташованими на різних відстанях і в різних азимутах, метою якого є остаточне вирішення питання про його природу та встановлення механізму вогнища.

**Зіставлення координат епіцентрів землетрусів і розташування шахт у районі м. Кривий Ріг.** Розглянуто дані про розташування епіцентрів землетрусів 25 грудня 2007 р., 14 січня

2011 р. та 23 червня 2013 р. у порівнянні з координатами шахт, в яких проводилися вибухи (табл. 5) та значеннями магнітуди  $m_b$ , одержаних за даними с/ст. ГЦСК [Андрущенко Ю.А. и др., 2012].

Координати епіцентрів та глибина вогнищ землетрусів мають такі значення: 48,03°N, 33,44°E, 16 ± 4 км (25 грудня 2007 р.) [Кендзера А.В. и др., 2012]; 48,03°N, 33,30°E; 12,8 км (14 січня 2011 р.) – осереднені значення за даними табл. 3; 48,10°N, 33,47°E, 11,6 км (23 червня 2013 р.) – осереднені значення за даними табл. 4.

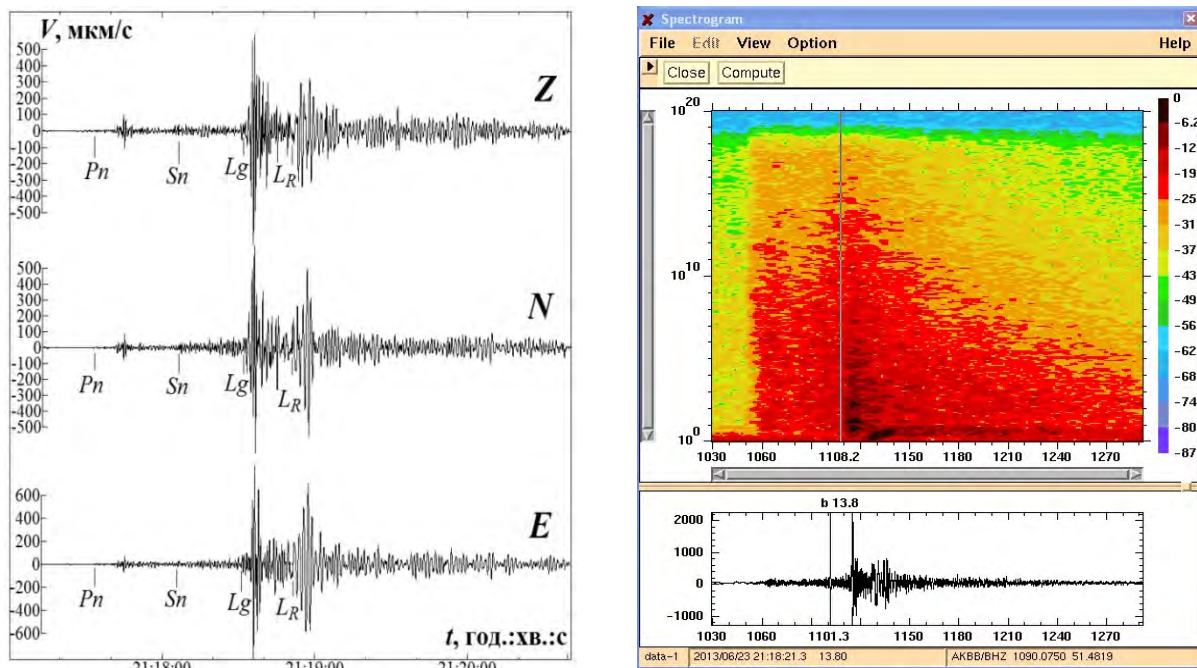
Встановлено, що координати землетрусу 23 червня 2013 р. майже не відрізняються від координат шахт ім. Леніна та Орджонікідзе: по широті лише на 0,02°, по довготі – на 0,03°. По відношенню до координат шахти «Гвардійська», різниця становить відповідно: 0,04° та 0,02°.

Дещо більшими є розбіжності відзначені при порівнянні координат попередніх землетрусів відносно положення шахтних полів. При землетрусі 25 грудня 2007 р. різниця знаходиться в межах 0,03–0,05° по  $\phi$  та 0,05–0,06° по  $\lambda$ , при землетрусі 14 січня 2011 р. – в тих же межах по  $\phi$  та в більших по  $\lambda$  – 0,19–0,21°.

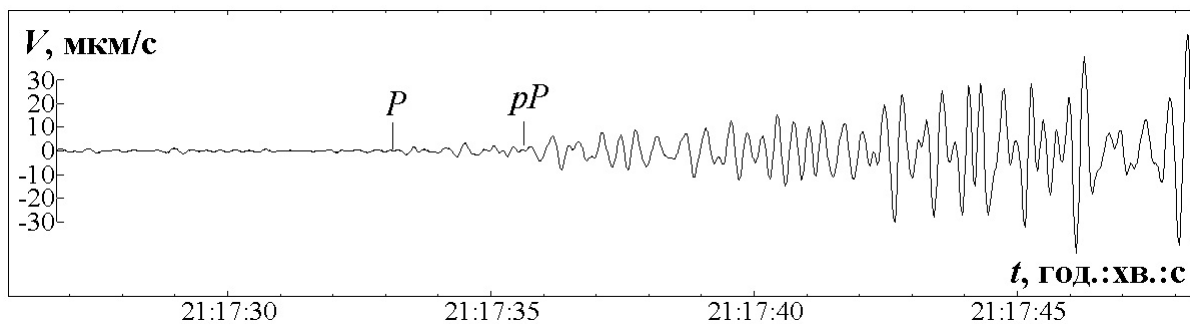
Слід відзначити, що перед землетрусом 23 червня 2013 р. не було зареєстровано вибухів з  $m_b \geq 3,0$ ; в цьому році магнітуда двох найпотужніших землетрусів не перевищила значення 2,4. В зв'язку з тим, що при трьох землетрусах (за даними різних центрів) середні значення глибини вогнищ відповідають інтервалу 11,6–20 км, зроблено наступне припущення. У районі м. Кривий Ріг середовище верхнього шару земної кори на глибині до 20 км знаходиться в нестабільному стані, який виник у наслідок потужних вибухів у шахтах, виймання та переміщення великого об'єму геологічного матеріалу, які проводилися тут протягом доволі тривалого періоду часу.

**Особливості записів і спектрограм сейсмічних подій різного походження з магнітудою  $m_b \geq 3,0$  в районі м. Кривий Ріг.** Проведений аналіз ознак відмінності сейсмічних подій різної природи на основі порівняння форми запису і спектрограм землетрусів та вибухів кар'єрах і шахтах в районі м. Кривий Ріг, яке знаходиться в районі Криворізько-Кременчуцької зони розломів, показує різницю в записах сейсмічних подій різного походження. На записах вибухів у шахтах переважають поверхневі хвилі, їх амплітуди значно вищі за амплітуди об'ємних хвиль. Максимум спектральної щільності в інтервалі запису  $Lg$ -хвилі спостерігається в діапазоні частот 1–15 Гц,  $L_R$ -хвилі – в смузі до 1 Гц. Основна частина енергії від вибухових джерел проявляється в інтервалі запису поверхневих хвиль. Складність ідентифікації природи сейсмічних подій пов'язана з тим, що основний сейсмічний ефект створюють не самі вибухи у шахті, а їх наслідки – подрібнення та зрушення гірських порід або просідання ґрунту.





a



б

**Рис. 4.** Запис та спектрограма (с/ст. «Малин», смуга частот 0,5 – 2,0 Гц) землетрусу 23 червня 2013 р., 21 год. 16 хв. 33 с,  $m_b = 4,5$  (а); виділення глибинної фази  $pP$  на Z-компоненті (б)

При цьому, спектрограми сейсмічних подій різного походження відрізняються навіть при однаковому рівні магнітуд. Спектрограми землетрусів, порівняно з спектрограмами вибухів, є більш насиченими, без наявних діапазонів згасань; чіткі максимуми спектральної щільності зафіксовано в інтервалі запису  $Lg$ - і  $L_R$ -хвиль. При вибухах збільшення спектральної щільності на спектрограмах відзначено в смузі запису  $P$ - і  $Lg$ -хвиль, далі на спектрограмах спостерігається її різке згасання.

#### Наукова новизна

Знайдені розбіжності в записах вибухів у кар'єрах та на значній глибині в шахтах можна пояснити особливостями умов в місцях вибуху і різною потужністю заряду. При вибухах в кар'єрах ВАТ Інгулецький ДЗК (маса заряду 900 – 1000 т ВР) спектр також знаходиться в смузі частот до 15 Гц, але на відміну від вибухів у шахтах, максимуми спектральної щільності простежуються не в інтервалі запису  $Lg$ -хвилі, а в цугу  $L_R$ -хвилі в смузі частот 1 – 2 Гц.

Зіставлення особливостей запису і спектрограм вибухів, здійснених в різних кар'єрах, показує, що форма запису і спектрограми вибуху (маса заряду 912 т ВР) в кар'єрах ВАТ Північний ДЗК та ВАТ Інгулецький ДЗК є подібними. Втім мають місце розбіжності в хвильовій картині при вибухах такої самої потужності в інших кар'єрах. У випадку менш потужних вибухів, вступ  $P$ -хвилі практично неможливо виділити на фоні перешкод. Чітко простежуються вступ і цуги тільки поверхневих хвиль. При вибухах в кар'єрах, розташованих на відстані 430–530 км від пунктів сейсмічних спостережень, впевнено виділяються та ідентифікуються сигнали лише від потужних зарядів – порядку 1000 т вибухових речовин (ВР).

#### Висновки

За результатами досліджень каталогів сейсмічних подій і сейсмічних записів зроблено ще один крок для розв'язання питання походження землетрусів в районі м. Кривий Ріг.

Землетруси в м. Кривий Ріг, при яких інтенсивність струшування земної поверхні в епіцентрі становила 5 балів за шкалою MSK-64, відбулися 25 грудня 2007 р. ( $m_b = 3,9$ ), 14 січня 2011 р. ( $m_b = 3,8$ ) та 23 червня 2013 р. ( $m_b = 4,6$ ). Виникнення вогнищ землетрусів в зоні Криворізько-Кременчуцького розлому на границі Інгульського та Середньопридніпровського мегаблоків УЩ імовірно являються наслідком нерівномірного розподілу напружень на границі Інгульського та Середньопридніпровського мегаблоків УЩ. У зв'язку з порушенням геодинамічної рівноваги, заподіяним потужними вибухами під час наземної і підземної розробки корисних копалин та переміщеннями великих об'ємів геологічного середовища, ділянки земної кори, зокрема роздроблені, стають джерелами землетрусів. Вплив вибухових робіт на прояви землетрусів підтверджується збігом часу реєстрації перших двох сейсмічних подій з часом проведення потужних вибухів у шахтах. Винятком є найсильніший землетрус 23 червня 2013 р., який відбувся в 22 год 16 хв за Грінвічем (UTC). У нічні часи доби вибухові роботи не проводяться, крім того протягом першої половини 2013 р. не зареєстровано вибухів з  $m_b \geq 3,0$ . Магнітуда при двох найпотужніших вибухах не перевищила значення 2,4.

Глибина вогнищ землетрусів 2007–2013 рр. (10–20 км) характеризує нестабільний стан середовища у верхньому шарі земної кори. Сейсмічні події руйнівного характеру тектонічного і техногенного походження створюють небезпеку для життя населення. Не виключено, що в досліджуваному районі при подальшому продовженні масштабних розробок корисних покладів із застосуванням потужних вибухових зарядів, можуть відбуватися землетруси з магнітудою вищою від 4,6.

Форми зареєстрованих станціями ГЦСК записів та спектрограми локальних землетрусів і промислових вибухів в кар'єрах і шахтах у межах Криворізької структури, мають істотні відмінності.

### **Практична значущість**

У зв'язку з високою інтенсивністю гірничих робіт в Криворіжжі в другій половині ХХ ст. та їх негативними наслідками, були проведені кількісні оцінки зміни геологічного середовища під одночасним впливом природних процесів, техногенно-природних і техногенних факторів. Вони показали, що екстенсивна експлуатація родовищ у залізородному басейні обумовлює катастрофічне порушення еколого-геологічної обстановки; на вузькій смузі (протяжністю більше 100 км) концентрація велетенських гірничодобувних підприємств перевищила допустимі норми; перед м. Кривий Ріг виникла перспектива екологічного колапсу [Екологіческая геология Украины, 1993]. Запобігти цьому процесу можна проведенням

спеціальних заходів з стабілізації геологічного комплексу в основі міста та розробкою науково обґрунтованих способів добування залізної руди. Але для забезпечення їх дієвості, ефективності та цінової прийнятності, в якості першочергових кроків, слід передбачити негайний розвиток моніторингової мережі сейсмічних спостережень, здатних телесеїсмічними методами локалізувати райони сучасної активізації тектонічних структур, які супроводжуються землетрусами різної величини і сейсмічною емісією.

### **Література**

- Азаров Н.Я., Анциферов, А.В., Шермет Е.М., Глеваский Е.Б., Есипчук К.Е., Кулик С.Н., Бурахович Т.К., Пигулевский П.И., Николаев Ю.И., Николаев И.Ю., Сетая С.Д., Захаров В.В., Курлов Н.К. Геолого-геофизическая модель Криворожско-Кременчугской шовной зоны Украинского щита. – К.: Наук. думка, 2006. – 196 с.
- 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., Кутас В.В., Кендзера А.В., Омельченко В.Д. Результаты сейсмических наблюдений на Восточно-Европейской платформе в районах Вольно-Подоллии и Украинского щита в 2005–2011 гг. // Сейсмологический бюллетень Украины за 2010 год. – Севастополь. – НПЦ «ЭККОСИ-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., Калитова И.А. Локальные землетрясения на Украинском щите // Геофиз. журн. – 2013. – 35, № 6. – С. 116 – 129.
- Бородулин М.А., Байсарович М.Н. Модель литосферы Украинского щита по материалам ОГТ // Геофиз. журн. – 1992. – 14, № 4. – С. 57–66.
- 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: ЦНИИМам, 2007. – 160 с.
- Гуфельд И.А., Матвеева М.И. Барьерный эффект дегазации и деструктуризация Земной коры // Докл. РАН. – 2011. – 438, №2. – С. 253–257.
- Державна геологічна карта України. Масштаб 1: 200000. Аркуш L-36-IV (Кривий Ріг)/ Укладачі: В.В. Захаров, А.В. Мартинюк, Ю.М. Токар. – Київ: Геоінформ, 2002. – 101 с.

- Кендзера О.В., Гурова І.Ю., Андрущенко Ю.А., Амашукелі Т.А., Лісовий Ю.В. Землетрус 12.03.2006 року в Житомирській області // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2007. – Вип. № 42. – С. 66 – 69.
- Кендзера А.В. Юго-западные регионы Восточно-Европейской платформы // Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы / Под ред. Шарова Н.В., Маловичко А.А., Щукина Ю.К. Кн. 1. Землетрясения. – Российская Академия наук Геофизическая служба, Карельский научный центр Института геологии. – Петрозаводск; 2007. – С. 310 – 327.
- Кендзера А.В., Старовойт О.Е., Омельченко В.Д., Надежда 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.
- Криворожская сверхглубокая скважина СГ-8. – Донецк: Ноулидж, 2011. – 555 с.
- 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. 59–72.
- 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., 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.
- Мечников Ю.П. Тектонофизическая модель // Криворожская сверхглубокая скважина СГ-8. – Донецк: Ноулидж, 2011. – С. 334–335.
- Мирзоев К.М., Негматуллаев С.Х., Симпсон Д., Соболева О.В. Возбужденная сейсмичность в районе водохранилища Нурекской ГЭС. – Душанбе; М.: Дониш. 1987. – 403 с.
- Мирзоев К.М., Николаев А.В., Лукк А.А., Юнга С.Л. Наведенная сейсмичность и возможности регулируемой разрядки напряжений в земной коре // Физ. Земли. – 2009. – № 10. – С. 49–68.
- Николаев А.В. Усиление региональной локальной сейсмичности, связанное с заполнением крупных водохранилищ. // Новейшая тектоника, новейшие отложения и человек. – Сб. 5. – М.: МГУ. – 1973. – С. 194 – 206.
- Николаев А.В. Сейсмические опасности // Наведенная сейсмичность. – М.: Наука. – 1994 – С. 139–164.
- Профиль ГСЗ Путивль-Кривой Рог через сверхглубокие скважины Украины / Чекунов А.В., Кившик Н.К., Харитонов О.М. и др. // Геофиз. журн. – 1992. – 14. – № 1. – С. 3–10.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Тектонічна карта України. – 1 : 1 000 000 / Гол. ред. С.С. Круглов, Д.С. Гурський. – К.: Укр.-ДГРІ, 2007.
- Экологическая геология Украины. Справочное пособие / Отв. Редактор Е.Ф. Шнюков. – К.: Наукова думка. – 1993. – 407 с.
- Jeffreys H., Bullen K.E. Seismological Tables. – London: British Association Seismological Committee. 1940. – 145 p.
- Kennett B.L.N. (ed.). IASPEI-1991 Seismological Tables. – Research School of Earth Sciences Australian National University. – Canberra, 1991. – 143 p.
- Thybo H., Janic T., Omelchenko V.D., Grad M., Garetsky R.G., Belinsky A.A., Karatayev G.I., Zlotski G., Knudsen M.E., Sand R., Yliniemi J., Tiira T., Luosto U., Kominaho 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, v. 371, issues 1–4. – 2003. – P. 41 – 80.

**А.В. КЕНДЗЕРА<sup>1\*</sup>, В.В. КУТАС<sup>2</sup>, Ю.А. АНДРУЩЕНКО<sup>3</sup>, П.Г. ПИГУЛЕВСКИЙ<sup>4</sup>, Ю.В. ЛЕСОВОЙ<sup>5</sup>**

<sup>1\*</sup> Отдел сейсмической опасности, Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, пр-т. Академика Палладина, 32, Киев, Украина, 03680, тел. +38(044) 423-81-43, E-mail: kendzera@igph.kiev.ua

<sup>2</sup> Отдел региональных проблем геофизики, Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, пр-т. Академика Палладина, 32, Киев, Украина, 03680

<sup>3</sup> Главный центр специального контроля Государственного космического агентства Украины, пгт. Городок, ул. Космическая, 1, Украина

<sup>4</sup> Отдел сейсмической опасности, Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, пр-т. Академика Палладина, 32, Киев, Украина, 03680

<sup>5</sup> Отдел сейсмической опасности, Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, пр-т. Академика Палладина, 32, Киев, Украина, 03680

### СЕЙСМИЧНОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ УКРАИНСКОГО ЩИТА В ПЕРИОД С 2007 ПО 2013 Г.

**Цель.** Целью исследований является выполнение сравнительного анализа форм записей и спектрограмм землетрясений и взрывов в карьерах и шахтах, расположенных в пределах Криворожского железорудного бассейна (Кривбасс) для установления признаков сейсмических событий различной природы данного региона с магнитудой  $M_b \geq 3,0$ . **Методика.** По литературным источникам проанализированы вопросы влияния внешних факторов на возникновение локальных землетрясений на платформенной территории в Западно-Ингулецко-Криворожско-Кременчугской шовной зоне, которая есть источником сейсмичности в центральной части Украинского щита. Выполнен анализ и синтез накопленной в течение 2009–2013 гг. Институтом геофизики НАН Украины и Главным центром специального контроля информации о местных сейсмических событиях в районе г. Кривой Рог с целью установления их природы. Рассмотрены тектонические особенности структуры земной коры центральной части Украинского щита по результатам геологических и геофизических исследований и бурения Криворожской сверхглубокой скважины НГ-8. **Результаты.** Показано, что записи землетрясений 25 декабря 2007 г., 14 января 2011 г. и 23 июня 2013 г. подобны между собой и, по ряду признаков, отличаются от записей взрывов. При сопоставлении сейсмограмм и спектрограмм этих трех событий обнаружено лишь незначительную разницу в амплитуде LR-волны на NS-компоненте, которая, возможно, вызвана разной глубиной их очагов. **Научная новизна.** Установленные признаки сейсмических событий различной природы позволяют выделять тектонические землетрясения на фоне техногенных и сейсмических событий техногенно-природного характера. **Практическая значимость.** Предварительные результаты показывают, что в качестве первоочередных шагов, следует предусмотреть немедленное развитие мониторинговой сети сейсмических наблюдений, способных телесеизмическими методами локализовать районы современной активизации тектонических структур, которые сопровождаются землетрясениями различной величины и сейсмической эмиссией. Созданная сеть позволит проводить специальные мероприятия по стабилизации геологической среды и разработать научно обоснованные способы добычи железной руды с обеспечением их эффективности и рентабельности, что даст возможность минимизировать будущие катастрофические последствия от нарушения эколого-геологической обстановки.

*Ключевые слова:* тектоника, структура, разлом, землетрясение, взрыв, сейсмическая запись, спектрограмма.

**A.V. KENDZERA<sup>1\*</sup>, V.V. KUTAS<sup>2</sup>, Yu.A. ANDRUSCHENKO<sup>3</sup>, P.G. PIGULEVSKIY<sup>4</sup>, Yu.V. LESOVOY<sup>5</sup>**

<sup>1\*</sup> Seismic hazard department, Institute of Geophysics by S.I. Subbotin name of NAS of Ukraine, Palladin avenue, 32, Kyiv, Ukraine, 03680, Tel. 38 (044) 423-81-43, E-mail: kendzera@igph.kiev.ua

<sup>2</sup> Regional Problems of Geophysics department, Institute of Geophysics by S.I. Subbotin name of NAS of Ukraine, Palladin avenue, 32, Kyiv, Ukraine, 03680

<sup>3</sup> The main center of special control of the State Space Agency of Ukraine, Gorodok village, Spacy street, 1, Ukraine

<sup>4</sup> Seismic hazard department, Institute of Geophysics by S.I. Subbotin name of NAS of Ukraine, Palladin avenue, 32, Kyiv, Ukraine, 03680

<sup>5</sup> Seismic hazard department, Institute of Geophysics by S.I. Subbotin name of NAS of Ukraine, Palladin avenue, 32, Kyiv, Ukraine, 03680

**SEISMICITY OF CENTRAL PART OF UKRAINIAN SHIELD  
IN 2007–2013 PERIOD**

**Purpose.** To perform a comparative analysis of record forms and earthquake spectrograms and explosions in quarries and mines what located in area of Kriviy Rih iron-ore basin (Kryvbas) for detection of seismic event signs of different nature this region with magnitude  $M_b \geq 3,0$  is the research object. **Methods.** On based the scientific literature the questions of the influence of external factors to the origin of local earthquakes on the platform territory in West-Ingulets-Kryvoyrih-Kremenchug sutural zone which is the source of seismicity in the central part of the Ukrainian Shield are analyzed. The analysis and synthesis of accumulated until 2009 to 2013 of the Institute of Geophysics of NAS of Ukraine and the Main center of special control information about local seismic events in area of Kriviy Rih city for to determine the nature ones are realized. The tectonic features of Earth's crust structure of central part of the Ukrainian shield on the results of geological and geophysical studies and boring Kriviy Rih super-deep borehole NG-8 are considered. **Results.** It is shown that the records of earthquakes December 25, 2007, January 14, 2011 and June 23, 2013 are similar and have several signs that different ones from explosion records. When comparing seismograms and spectrograms of this three seismic events it was detected only a small difference in the amplitude of the LR-wave in the NS-component that possibly caused by the different depth of their sources. **Scientific novelty.** The determined signs of seismic events of different nature allow selecting of tectonic earthquakes on the background of technogenetic and seismic events of technogenetic-natural nature. **The practical significance.** Preliminary results show that as the primary steps necessary to provide immediate development of a monitoring network of seismic observations that can be of teleseismic methods to localize areas of modern activation of tectonic structures that accompanied by earthquakes of varying magnitude and seismic emission. This created network allows to carry out special measures to stabilize the geological environment and to develop the scientific-based methods for extracting iron ore and to be safe their efficiency and profitability that will allow minimize future catastrophic consequences from a disturbance of ecological and geological conditions.

*Keywords:* tectonics, structure, fault, earthquake, explosion, seismic records, spectrogram

**REFERENCES**

- Andrushchenko Yu.A. *Kontrol' promyslovykh ta avariynykh vybukhiv na terytoriyi Ukrayiny seysmichnymy stantsiyamy Holovnoho tsentru spetsial'noho kontrolyu* [Control of industrial and emergency explosions on territory of Ukraine by seismic stations of the Main Center of Special Control] // *Heofizychnyy zhurnal* [Geophysical Journal], 2006. 28, #3, pp. 110–115.
- Andrushchenko Yu.A., Kutas V.V., Kendzera A.V., Omel'chenko V.D. *Rezultaty seysmicheskikh nablyudeniy na Vostochno-Evropeyskoy platforme v rayonakh Volyno-Podolii i Ukrainського shchita v 2005 – 2011 gg.* [The seismic observations results on the East European platform in area Volino-Podillya and Ukrainian Shield in the 2005-2011] // *Seysmologicheskyy byulleten' Ukrainy za 2010 god* [Seismological bulletin of Ukraine 2010]. Sevastopol'. NPTs «EKOSI-Gidrofizika», 2011, pp. 42–52.
- Andrushchenko Yu.A., Kutas V.V., Kendzera A.V., Omel'chenko V.D. *Slabye zemletryaseniya i promyshlennyye vzryvy, zaregistrirovannyye na Vostochno-Evropeyskoy platforme v predelakh territorii Ukrainy 2005–2010 gg.* [Weak earthquakes and industrial explosions that recorded on the East European platform in area of territory of Ukraine until 2005 to 2010] // *Heofizychnyy zhurnal* [Geophysical Journal]. 2012. 34, № 3, pp. 49–60.
- Andrushchenko Yu.A., Kutas V.V., Kendzera A.V., Omel'chenko V.D., Kalitova I.A. *Lokal'nye zemletryaseniya na Urainskom shchite* [The local earthquakes on Ukrainian shields] // *Heofizychnyy zhurnal* [Geophysical Journal]. 2013. 35, № 6, pp. 116–129.
- Azarov N.Ya., Antsiferov, A.V., Sheremet E.M., Glevasskiy E.B., Esipchuk K.E., Kulik S.N., Burakhovich T.K., Pigulevskiy P.I., Nikolaev Yu.I., Nikolaev I.Yu., Setaya S.D., Zakharov V.V., Kurlov N.K. *Geologo-geofizicheskaya model' Krivorozhsko-Kremenchugskoy shovnoy zony Ukrainського shchita* [Geological-geophysical model of the Kriviy Rig-Kremenchug suture zone of the Ukrainian Shield]. Kiev: *Naukova dumka* [Kyiv: Sciences Idea], 2006. 196 p.
- Borodulin M.A., Baysarovich M.N. *Model' litosfery Ukrainського shchita po materialam OGT* [Model of the lithosphere of Ukrainian Shield by materials of GDP] // *Heofizychnyy zhurnal* [Geophysical Journal]. 1992. 14, № 4, pp. 57–66.
- Chekunov A.V., Kivshik N.K., Kharitonov O.M. i dr. *Profil' GSZ Putyvl'-Krivoy Rog cherez sverkhglubokie skvazhiny Ukrainy* [Putyvl'-Krivoy Rog profile DSP through ultradeep boreholes of Ukraine] // *Heofizychnyy zhurnal* [Geophysical Journal]. 1992. 14. № 1, pp. 3–10.

- Derzhavna heolohichna karta Ukrayiny. Masshtab 1: 200000. Arkush L-36-IV (Kryvyy Rih)* [State Geological Map of Ukraine. Scale 1 : 200,000. Sheet L-36-IV (Krivoy Rog)] / Ukladachi: V.V. Zakharov, A.V. Martynyuk, Yu.M. Tokar. *Kiev: Heoinform* [Kyiv. GeoInform], 2002, 101 p.
- Ekologicheskaya geologiya Ukrainy. Spravochnoe posobie* [Ecological geology of Ukraine. Handbook] / Otv. Redaktor E.F. Shnyukov. *Kiev: Naukova dumka* [Kyiv. Science Idea]. 1993, 407 p.
- Gintov O.B. *Zony razlomov Ukrainskogo shchita. Vliyanie protsessov razlomoobrazovaniya na formirovanie struktury zemnoy kory* [Fault zones of the Ukrainian shield. Influence of fault-formation processes on the formation of the Earth crust structure] // *Heofizychnyy zhurnal* [Geophysical Journal]. 2004. 26, № 3, pp. 3–24.
- Gufel'd I.A. *Seysmicheskiy protsess. Fiziko-khimicheskie aspekty* [Seismic process. Physico-chemical aspects]. – *Korolev: TsNIIMam*, 2007, 160 p.
- Gufel'd I.A., Matveeva M.I. *Bar'ernyy efekt degazatsii i destrukturalizatsiya Zemnoy kory* [Barrier effect of degassing and de-structuration of the Earth crust] // *Doklady RAN* [Reports of RAS]. 2011. 438, № 2, pp. 253–257.
- Kenzera A.V. *Yugo-zapadnye regiony Vostochno-Evropeyskoy platformy* [South-western regions of the East European Platform] // *Zemletryaseniya i mikroseyzmichnost' v zadachakh sovremennoy geodinamiki Vostochno-Evropeyskoy platformy / Pod redaktsiye Sharova N.V., Malovichko A.A., Shchukina Yu.K. Kniga 1. Zemletryaseniya. Rossiyskaya Akademiya nauk Geofizicheskaya sluzhba, Karelskiy nauchnyy tsentr Institut geologii* [Russian Academy of sciences. Geophysical department. Karelia's science center]. Petrozavodsk. 2007, pp. 310–327.
- Kenzera O.V., Hurova I.Yu., Andrushchenko Yu.A., Amashukeli T.A., Lisovyy Yu.V. *Zemletrus 12.03.2006 roku v Zhytomyr's'kiy oblasti* [12.03.2006 Earthquake in Zhytomyr region] // *Visnyk Kyivskoho natsional'noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka* [Bulletin of Kyiv National University by name Taras Shevchenko]. 2007. Vyp. № 42, pp. 66–69.
- Kenzera A.V., Starovoyt O.E., Omel'chenko V.D., Nadezhka L.I., Vol'fman Yu.M., Gabsatarova I.P., Pivovarov S.P., Lesovoy Yu.V. *Krivorozhskoe zemletryasenie 25 dekabrya 2007 g. Instrumental'nye dannye.* [Earthquake in Krivyi Rig December 25, 2007 Instrumental data] // *Heofizychnyy zhurnal* [Geophysical Journal]. 2012. 34, № 2, pp. 60–71.
- Krivorozhskaya sverkhglubokaya skvazhina SG-8* [Ultradeep borehole in Krivoy Rog HG-8]. – *Donetsk: Noulidzh*, 2011, 555 p.
- Kutas V.V., Omel'chenko V.D., Kenzera A.V., Drogitskaya G.M., Kalitova I.A. *Seysmichnost' zapadnoy chasti Vostochno-Evropeyskoy platformy v predelakh Ukrainy* [Seismicity of the western part of the East European platform in area of Ukraine] // *Heofizychnyy zhurnal* [Geophysical Journal]. 2007. 29, № 5, pp. 59–72.
- Kutas V.V., Omel'chenko V.D., Drogitskaya G.M., Kalitova I.A. *Krivorozhskoe zemletryasenie 25 dekabrya 2007 g.* [Earthquake in Krivyi Rig December 25, 2007] // *Heofizychnyy zhurnal* [Geophysical Journal]. 2009. 31, № 1, pp. 42–52.
- Kutas V.V., Andrushchenko Yu.A., Omel'chenko V.D. *Glubinnoe stroenie zemnoy kory v rayone Krivorozhskoy struktury po geologo-geofizicheskim dannym i vliyanie tekhnogenogo faktora na proyavlenie lokal'noy seysmichnosti* [Deep structure of the Earth crust in area Krivyi Rig structure base on geological and geophysical data and influence of anthropogenic factors to show of local seismicity] // *Heofizychnyy zhurnal* [Geophysical Journal]. 2013. 35, № 3, pp. 156–165.
- Mirzoev K.M., Nikolaev A.V., Lukk A.A., Yunga S.L. *Navedennaya seysmichnost' i vozmozhnosti reguliruemoy razryadki napryazheniy v zemnoy kore* [Induced seismicity and possibilities of controlled stress relaxation in the Earth crust] // *Fizika Zemli* [Physics of the Earth]. 2009, № 10, pp. 49–68.
- Mirzoev K.M., Negmatullaev S.Kh., Simpson D., Soboleva O.V. *Vozbuzhdennaya seysmichnost' v rayone vodokhranilishcha Nurekskoy GES* [Excited seismicity in area reservoir of Nurek HES]. *Dushanbe-Moskva: Donish.* – 1987. – 403 p.
- Mechnikov Yu.P. *Tektonofizicheskaya model'. Krivorozhskaya sverkhglubokaya skvazhina SG-8.* [Tectonophysical model. Ultradeep borehole in Krivoy Rog HG-8]. // *Donetsk: Noulidzh*, 2011, pp. 334–335.
- Nikolaev A.V. *Seysmicheskie opasnosti. Navedennaya seysmichnost'* [Seismic hazard. Induced seismicity]. *M.: Nauka* [Moscow. Science]. 1994, pp. 139–164.
- Nikolaev A.V. *Usilenie regional'noy lokal'noy seysmichnosti, svyazannoe s zapolneniem krupnykh vodokhranilishch* [Amplification of regional local seismicity that associated with the filling of large reservoir storages] // *Noveyshaya tektonika, noveyshie otlozheniya i chelovek* [New tectonic, new sediments and people]. Sb. 5. M.: MGU, 1973, pp. 194–206.
- Pustovitenko B.G., Kul'chitskiy V.E., Pustovitenko A.A., Sklyar A.M. *Instrumental'nye i makroseysmicheskie dannye o protsessakh v ochagovoy zone Krivorozhskogo zemletryaseniya 25 dekabrya 2007 g.* [Instrumental

- and macroseismic data about processes in the focal zone of the earthquake in Krivoy Rog December 25, 2007] // *Heofizychnyy zhurnal* [Geophysical Journal]. 2010. 32, № 2, pp. 75–97.
- Pustovitenko B.G., Pustovitenko A.A., Kapitanova S.A. *Protsessy v ochagovoy zone Krivorozhskogo zemletryaseniya 25 dekabrya 2007 g.* [Processes in the focal zone of the earthquake in Krivoy Rog December 25, 2007] // *Seismologicheskyy byulleten' Ukrainy za 2010 god* [Seismological Bulletin of Ukraine for 2010]. Sevastopol'. NPTs «EKOSI-Gidrofizika», 2011, pp. 17–22.
- Svidlova V.A., Bondar' M.N. *Katalog i podrobnye dannye o seymicheskikh sobytiyakh tsentral'noy i severo-vostochnoy chasti Ukrainy za 2010 g.* [Catalog and details data of seismic events in central and north-eastern part of Ukraine for 2010] // *Seismologicheskyy byulleten' Ukrainy za 2010 god* [Seismological Bulletin of Ukraine for 2010]. Sevastopol'. NPTs «EKOSI-Gidrofizika», 2011, pp. 109–114.
- Sklyar A.M., Knyazeva V.S. *Makroseymicheskie dannye krivorozhskogo zemletryaseniya 14 yanvarya 2011 g.* [Macroseismic data of earthquake in Krivoy Rog January 14, 2011] // *Seismologicheskyy byulleten' Ukrainy za 2011 god* [Seismological Bulletin of Ukraine for 2011]. Sevastopol'. NPTs «EKOSI-Gidrofizika», 2012, pp. 59–61.
- Tektonichna karta Ukrayiny. – 1 : 1 000 000* [Tectonic map of Ukraine. – 1 : 1 000 000] / Hol. Red. S.S. Kruhlov, D.S. Hurs'kyy. *Kiev: Ukr. DHRI* [Kyiv: Ukrainian State Geological Survey Institute], 2007.
- Jeffreys H., Bullen K.E. *Seismological Tables*. – London: British Association Seismological Committee. 1940, 145 p.
- Kennett B.L.N. (ed.). *IASPEI-1991 Seismological Tables*. – Research School of Earth Sciences Australian National University. – Canberra. 1991, 143 p.
- Thybo H., Janic T., Omelchenko V.D., Grad M., Garetsky R.G., Belinsky A.A., Karatayev G.I., Zlotski G., Knudsen M.E., Sand R., Yliniemi J., Tiira T., Luosto U., Kominaho 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 Pripjat Trough and the Ukrainian Shield along the Eurobridge' 97 profile* // *Tectonophysics*, v. 371, issues 1–4. – 2003, pp. 41–80.

*Статтю рекомендували до друку: д-р геол. наук, ст. наук. співр. О.К. Тяпкін (Україна); д-р фіз.-мат. наук, проф. Ю.П. Стародуб (Україна)*

Надійшла 23.05.2014 р.