

Дослідження мікросейсмічних явищ техногенного походження

© В. М. Здещиц¹, О. А. Калініченко¹, П. Г. Пігулевський¹,
Б. І. Рибалко¹, С. В. Щербіна², 2015

¹Науково-дослідний гірничорудний інститут ДВНЗ
"Криворізький національний університет", Кривий Ріг, Україна

²Інститут геофізики НАН України, Київ, Україна

Надійшла 25 грудня 2014 р.

Представлено членом редколегії О. В. Кенджерою

Рассмотрены результаты измерения параметров микросейсмических явлений в шахте "Артем-1" ШУ ПАО "АрселорМиттал Кривой Рог" на глубине 1005 м, которые сопровождаются изменениями состояния массива горных пород. Определен спектр частот акустических явлений техногенного и нетехногенного характера. Проведена предварительная классификация нетипичных микросейсмических явлений в шахте. Краткий анализ изложенного показал, что продолжительность работ по регистрации сейсмических событий различного типа в шахте недостаточна. Для полного понимания многих вопросов и обеспечения безопасности и защиты от опасных сейсмических явлений технического происхождения эти работы необходимо проводить непрерывно.

Ключевые слова: шахта, микросейсмический треск, микроземлетрясение, оползни, провалы.

Упродовж понад століття із надр м. Кривий Ріг (Україна) було "вийнято" близько 3 млрд т багаті руди і ще більше залізистих кварцитів. Створення відвалів (навколо Кривого Рогу за весь час видобутку руди нагромадилося близько 7 млрд т "пустої" породи), ставків-накопичувачів, шламосховищ призводить до зміни напружено-деформованого стану (НДС) гірського масиву та зсувних явищ. Унаслідок промислової діяльності регіон дістав серйозні екологічні проблеми. Видобуток руди призвів до утворення численних підземних порожнин. Сотні квадратних кілометрів земної поверхні опинилися в зонах масового обвалення. Так, у центрі міста щонайменше є три небезпечні ділянки (рис. 1), які у будь-який момент можуть обвалитися.

Ці самі проблеми виникають і в забезпеченні безпеки виконання робіт у шахтах в умовах порушення цілісності гірського масиву. З поглибленням гірничих робіт підземне відроблення запасів здійснюють під товщами порід потужністю понад 900 м. Значні за об'ємом підземні порожнини з'являються в результаті вий-

мання на великих глибинах запасів "сліпих" покладів (тобто покладів, верхня частина яких не виходить на поверхню). Спливання порожнин над виробленими просторами триває десятиліттями. Це призводить не тільки до передбачуваних у часі виходів воронки і розвитку мульд зрушення, а й до загрози гірських ударів у шахтах.

Проблема пошуку підземних порожнин і нейтралізації наслідків їх деформації, переміщення і руйнувань не є новою [Паранько та ін., 2005]. Актуальність геомеханічних досліджень настільки велика, що їх виконують практично на всіх великих гірничодобувних підприємствах світу.

Для діагностики й контролю напруженого стану та властивостей масиву гірських порід використовують різні методи спостережень [Вопросы ..., 2005]. Методи досліджень ґрунтуються на принципі залежності властивостей гірських порід та їх НДС від величини впливу силових полів, що виникають у гірському масиві. Тому значну частину досліджень спрямовано на оцінювання міцності, пружних, реоло-

гічних, електромагнітних, акустичних та інших фізико-механічних властивостей гірських порід та їх НДС.

За функціональним призначенням методи та засоби діагностики й контролю НДС масиву гірських порід можна розділити на аналітичні, методи натурних спостережень і методи лабораторного моделювання. Аналіз результатів, отриманих за допомогою цих методів, дає змогу дійти висновку, що існуючі методи й засоби контролю за геомеханічними процесами не забезпечують необхідної точності та оперативності достатньою мірою, а головне, можливості дистанційного контролю стану гірських масивів. Тому виникла необхідність у створенні геоінформаційної системи (ГІС) для безперервного дистанційного моніторингу геомеханічного стану масиву порід у зонах впливу підземних порожнин [Вилкул и др., 2013].

Останніми роками нагромаджено позитивний досвід використання мікросейсмічного моніторингу як методу контролю стану масиву гірських порід. Утворення тріщин у гірських породах або розвиток карстових порожнин може спричинити генерацію украй слабких сейсмічних подій. Реєструючи ці події, можна контролювати розвиток геодинамічних процесів.

Мікросейсмічний моніторинг заснований на реєстрації сейсмічних коливань від невеликих актів крихкого руйнування у породному масиві. Обробивши отримувані сейсмічні записи, оцінюють такі характеристики процесів руйнування [Маловичко, Линч, 2009]:

- 1) їх положення у просторі;
- 2) сейсмічну енергію, що виділилася;

3) непружну деформацію у зоні джерела сейсмічних коливань.

Інтерпретація і аналіз даних характеристик дають змогу ідентифікувати сейсмічно активні геологічні структури та уникати катастрофічних наслідків: обвалів гірської породи, провалів, гірських ударів тощо.

Одна з головних переваг мікросейсмічного методу перед іншими полягає в тому, що спостереження охоплюють увесь об'єм порід. Інша перевага полягає у безперервності проведення спостережень і можливості оперативного отримання результатів.

У світовій практиці сейсмологічний моніторинг є загально визнаним інструментом для контролю геодинамічної ситуації. Його застосовують на копальнях Південної Африки, Австралії, США, Канади, Франції, Польщі, Великої Британії, Німеччини, ПАР, Росії, Казахстану та ін. У НДГРІ ДВНЗ "Криворізький національний університет" розробляють комплекс апаратури і методик реєстрації та ідентифікації акустичних сигналів Землі для перманентного контролю стану гірського масиву (ГІС). Одним з етапів розробки є реєстрація сейсмічних сигналів геомеханічних подій і їх ідентифікація, тобто визначення типу процесу: виникнення (розвиток) мікротріщини, магістральної тріщини, обвалення склепіння тощо за формою сигналу, його тривалістю, часом наростання, часом спаду, спектральною густиною сигналу та ін. Мета цього етапу — визначення чутливості датчиків і виділення імпульсних сейсмічних сигналів, пов'язаних з роботою гірничого устаткування, технологічними вибухами та іншими зовнішніми діями.



а



б

Рис. 1. Провал в центрі міста біля речового ринку (а) діаметром близько 15 м і завглибшки до 10 м та на його околиці (б).

Задля цього на стику полів шахт (ш.) "Артем-1" ШУ ПАО "АрселорМіттал Кривий Ріг" (далі — Артем-1), і "Батьківщина" ПАО "Кривбасзалізрудком" на глибині 1005 м проведено амплітудні та спектральні вимірювання сейсмічних сигналів.

Сучасні гірничі роботи по покладу ведуться на відстані 370 м на південь від полотна автомобільної дороги в районі 239—247 маркшейдерських осей (м. о.) ш. "Артем-1". Ділянка автодороги в районі м. о. 140—180, ЛСП+900 м—ЛСП+1350 м, протяжністю 320 м знаходиться безпосередньо над виробленим простором покладу "Основна-95" (обґрунтування ш. "Батьківщина"). Поклад "Об'єднана" відпрацьовує ш. "Артем-1".

Небезпечною зоною, яку необхідно спостерігати методом мікросейсмічного моніторингу, є частина масиву, яка розміщується в таких межах:

- від м. о. 247 до м. о. 295 ш. "Артем-1";
- у ЛСП 800—1500 м;
- в інтервалі глибин 100—1300 м.

Особливості геологічної будови родовища, яке відпрацьовує ш. "Артем-1", як й інших родовищ багатих руд цього типу, визначаються його приуроченістю до східної частини синформної Криворізької структури, яка межує із Саксаганським куполом, складеним плагіогранітами саксаганського комплексу пізнього архею. Східна частина Криворізької структури має в цілому лускувато-блокову будову і представлена Саксаганським блоком. Останній складений породами криворізької і конкської серій і є моноклінальлю із західним падінням шарів під кутами 46—60°. За простяганням блок обмежений Східним і Саксаганським розломами.

У межах масиву гірських порід на стику полів шахт "Батьківщина" і "Артем-1" монокліналь ускладнена складками вищих порядків, серед яких виділяють Саксаганську синкліналь і однойменну антикліналь [Геология ..., 1962; Геолого-геофизическая ..., 2006, Криворожская ..., 2011]. Обидві складки характеризуються в цілому північним простяганням і сформувались унаслідок насувних процесів. Осьові поверхні складок падають на захід і північний захід під кутами 45—70°. Загальне крило цих структур практично повністю знищене Саксаганським насувом, унаслідок чого складки є однокрилими.

Саксаганська синкліналь є найбільшою рудомісною і рудоконтролюючою структурою. Азимут її простягання 0—30°, падіння осьової поверхні на захід під кутом 45—70°, занурення шарніра на північ під кутом 12—22°. У східному крилі синкліналі в нормальній стратигра-

фічній послідовності простежено породи криворізької серії нижнього протерозою від скелюватської світи до шостого залізистого горизонту саксаганської світи включно.

Породи скелюватської світи складені кварцовими метапісковиками, метагравелітами, метаконгломератами й філітоподібними сланцями (кварц-серицит-біотитовими, кварц-біотитовими, кварц-серицитовими). Розріз світи завершується тальковим горизонтом, що складається з карбонат-хлорит-талькових і карбонат-тальк-актинолітових сланців.

На породах талькового горизонту згідно залягають залізисто-кременисті відклади саксаганської світи, складеної перешаруванням сланцевих і залізистих горизонтів. Сланцеві горизонти представлені асоціацією біотит-хлоритових, кварц-хлоритових, кварц-серицит-хлоритових, графіт-серицитових, графіт-хлорит-серицитових сланців і безрудних кварцитів, а залізисті — магнетитовими, силікат-магнетитовими, карбонат-силікат-магнетитовими кварцитами та джеспілітами, у зоні окиснення — магнетит-мартитовими, мартитовими, дисперсно-гематит-мартитовими кварцитами, а також мартитовими, дисперсногематит-мартитовими багатими залізними рудами.

У межах ділянки, де відбувалися спостереження, розроблюють поклад "Об'єднаний", складений мартитовими, дисперсногематит-мартитовими і дисперсногематитовими рудами та приурочений до п'ятого залізистого, п'ятого сланцевого і четвертого залізистого горизонтів. Морфологічно — це "сліпе" пластоподібне і складчасто-пластоподібне рудне тіло, обмежене зі сходу породами четвертого сланцевого горизонту, із заходу — східною поверхнею Саксаганського розлому, яке занурюється на північ під кутом 18—20°. Максимальна глибина поширення покладу на межі з гірничим відводом ш. "Батьківщина" — 1500 м.

Висячий бік рудного покладу утворює однокрило Саксаганська антикліналь, яка має доволі складну блокову будову. Простягання антикліналі північне та північно-східне, занурення шарніра під кутом близько 20° із значними відхиленнями внаслідок поперечних вигинів складок. Антикліналь представлена західним крилом і ядром складки в породах скелюватської світи. Західне крило антикліналі складено тальковим горизонтом скелюватської світи, сланцевими та залізистими горизонтами (від першого до п'ятого) саксаганської світи.

Блокова будова антикліналі зумовлена наявністю п'яти поздовжніх лускуватих насувів. Їх

поверхні мають хвилясту будову за простяганням і падінням. Кут падіння поверхонь варіює в межах 25—60°. Для усіх насувів характерне більш полого залягання за простяганням із півдня на північ і падінням з глибиною. Насувні поверхні щодо шаруватості мають різні кути, частіше — гострі. Форма відокремлених ними блоків неправильна. Розмір змінюється у широкіх межах: довжина — від 200 до 700—800 м, ширина — від 10—20 до 150—200 м. Крім того, у межах висячого боку поширені поперечні зміщення типу скидів. У межах ділянки виявлено три скиди з амплітудами 200—300 м.

По зоні розлому з породами антикліналі контактує гданцівська світа. Її розділяють на три підсвіти — нижню, середню й верхню. Нижня представлена в розрізі кварц-серицит-охристими сланцями, середня — парагенезисом кварц-серицит-вуглистих сланців і карбонатних порід (мармурів і доломітів), верхня — карбонат-кварц-біотитовими, кварц-біотитовими сланцями й польовошпат-кварцовими метапісковиками.

Розріз докембрійських утворень завершують породи глеюватської світи, яка не входить до складу криворізької серії. У її будові беруть участь поліміктові метаконгломерати, метапісковики, а також сланці біотитового та кварц-біотитового складу.

Кристалічні породи докембрію перекриті товщею осадових відкладів неоген-четвертинного віку, потужністю 40—50 м.

На цей час гірничі роботи ш. "Артем-1" ведуться у підповерсі горизонтів (гор.) 1035—1005 м, у районі м. о. 207—239 (обґрунтування ш. "Артем-1"). Підготовчі роботи з відробітку частини покладу проводять у межах м. о. 241—255 у поверсі 975—1035 м.

Розмір рудного тіла за простяганням 150 м, за падінням — від 180 м на гор. 1045 м до 0 м на гор. 865 м. Потужність по нормалі — від 10 м на гор. 865 м до 100 м на гор. 1045 м. Форма рудного тіла плаstopодібна. Вміст Fe у руді 50—65 %. Міцність руд f 5—7, кварцитів дисперсногематит-мартитових — f 9—11, сланців дис-

персногематитових — f 6—8, джеспилитів мартитових — f 10—14. Коефіцієнт Пуассона 0,19—0,7. Ступінь тріщинуватості порід і руд середня, їх стійкість низька. Руди схильні до злежування. Порооди і руди не схильні до утворення пливунів. Пористість руди 16—20 %. Проектні до відроблення виїмкові одиниці блока 255 осі гор. 1035 і 1005 м розміщуються у північній частині шахтного поля в м. о. 247—271.

Запаси покладу "Об'єднана" в м. о. 247—271 знаходяться в охоронному цілику дороги "Техбаза" — с. Жуковка, відпрацьованому з північного боку в районі м. о. 271 очисними роботами ш. "Батьківщина" у поверсі 865—1045 м понад 20 років тому. Іншими словами, у рудному масиві цілику відбуваються постійні перерозподіли напруження і він зазнає постійного впливу гірського тиску. При цьому гірські породи колишнього цілику розвантажуються із зсувом у напрямку зони відроблення руди ш. "Батьківщина". Зона розвантаження характеризується порушенням цілісності гірського масиву.

Дослідження спектра коливання гірського масиву з боку ш. "Артем-1" під час роботи шахтних механізмів проведено 26.02.2014 р. на гор. — 1005 м (планові координати точки сейсмічних вимірювань на межі виробленого простору ш. "Артем-1": широта 47° 57' 11,01" N, довгота 33° 22' 46,71" E (рис. 2)).

Для досліджень використовували п'єзодатчики, типові характеристики яких наведено в таблиці.

Усі сейсмічні датчики були з'єднані з портативним цифровим чотириканальним осцилографом TPS-2014B за допомогою пасивних пробників типу P2220 із смугою пропускання 200 МГц. Повністю ізольовані незалежні входи осцилографа запобігають перехресному впливу одного вимірювального каналу на інший. Власний фоновий сигнал реєструвальної системи 15 мВ.

Програмне забезпечення Open Choice дає змогу передавати інформацію про форму сигналу, результати вимірів, а також виконання установок безпосередньо з осцилографа в документи Excel. Програма WST—RO WaveStar забез-

Параметри п'єзоелемента (ОПК І—А0311—Л136-08)

Розмір, мм	Опір ізоляції, Ом · м	Електрична міцність за постійним струмом, В	Електрична ємність, пФ	Чутливість, пКл/Па	Полярність сигналу
2,27	100	300	269	$147 \cdot 10^{-4}$	+

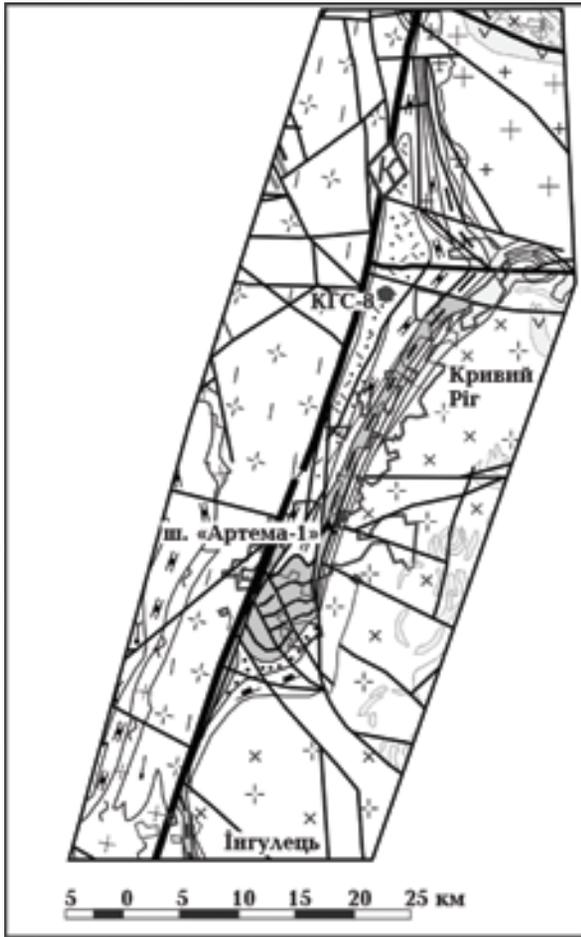


Рис. 2. Поверхнева мапа тектонічної структури Кривбасу зони шахтних виробок "Артем-1" та іншої території навколо неї.

печує керування осцилографом з персонального комп'ютера. Наприклад, вимірювання спектра коливань гірської породи під час роботи в шахті перфоратора на відстані 200 м від п'єзодатчика (рис. 3) дало змогу визначити ділянку спектрального шуму, який необхідно буде надалі гасити у разі розміщення ГС у зоні роботи перфоратора. Як видно, основний внесок у спектральну інтенсивність паразитного сигналу від роботи перфоратора робить ділянка з частотами, близькими до 4, 12, 22—24 Гц. Результати були отримані під час роботи скреперної та повітряної лебідки, вібролюка та інших механізмів. Визначено, що ділянка виробничого спектрального шуму лежить у частотному діапазоні 0—35 Гц.

Для реєстрації мікросейсмічних подій на згаданому горизонті у ш. "Артем-1" була встановлена сейсмічна станція UK15 (сейсмостанція Кривого Рогу), яку розроблено для фіксації

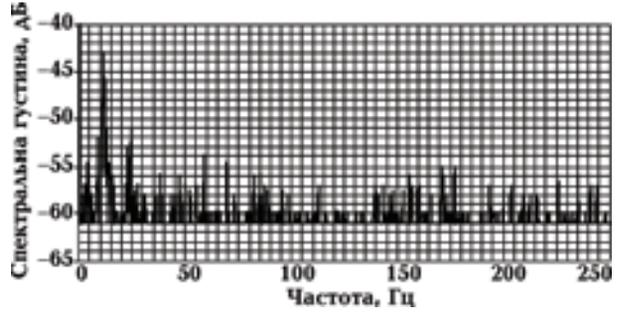


Рис. 3. Спектрограма коливань гірської породи під час роботи перфоратора.

та аналізу мікро- і макросейсмічних процесів та явищ різного типу. Короткий опис апаратури станції UK15 і програмне забезпечення опубліковано у статтях [Щербина, 2008 а, б]. Як датчики використано модифіковані сейсмографи — велосиметри ВЕГИК (вимірники швидкості коливання ґрунту). Ці сейсмічні магнітоелектричні датчики є чутливішими порівняно з традиційними завдяки використанню вмонтованих у них спеціальних підсилювачів з невеликим зворотним зв'язком на виході для забезпечення надкритичного загасання і перемотування стандартних котушок для підвищення чутливості та шумозаглушення. Чутливість сейсмометрів за зсувом (зміщенням) 11 183,5 В/м, за швидкістю — 74 594,7 В/(м/с). На рис. 4 показано записи горизонтальних каналів сейсмометрів SMG 40T і модифікованого ВЕГИК. Амплітуда записів станції UK15 ушестеро перевищує амплітуду записів GURALP SMG 40T по однакових каналах.

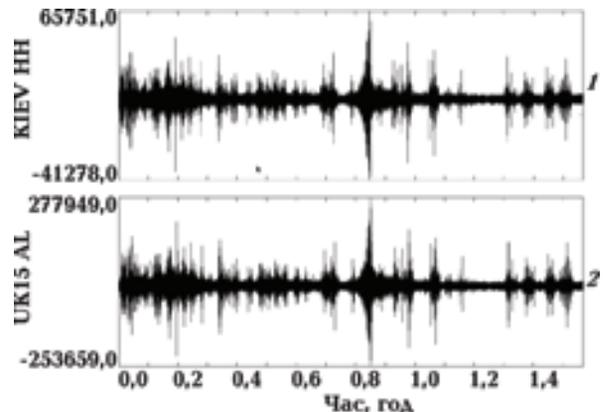


Рис. 4. Синхронні за часом записи мікросейсмічного техногенного шуму в м. Київ по горизонтальних каналах сейсмометрів англійського Guralp SMG 40T (1) і модифікованого ВЕГИК (2).

Для досконалішого аналізу властивостей сейсмоапаратури, які засвідчують її можливості з вимірювання мікросейсмічних сигналів, можна використовувати результати розрахунків спектрів записів широкосмугового мікросейсмічного шуму з метою приблизного оцінювання цих властивостей. На рис. 5 показано амплітудно-фазові частотні характеристики широкосмугових мікросейсмічних коливань вертикальних каналів сейсμοприймачів Guralp SMG 40T і модифікованого — ВЕГИК, що стояли поруч на спеціальному постаменті для вимірювань сейсмічних хвиль різного походження.

Зареєстрований сигнал на станції перетворюється на потік даних і через мережевий інтерфейс подається на центральний сервер. Під час вимірювань у шахті на глибині 1005 м використовували ноутбук Dell Latitude-5420.

По мережевому кабелю дані передаються і приймаються на ноутбук за протоколом TCP/IP. Для обробки отриманої мікросейсмічної інформації використовували програмне забезпечення "Oscilloscope", яке дає змогу не лише прогля-

дати хвильові форми мікросейсм, а й в оперативному режимі їх обробляти.

Дослідження проводилися у два етапи: 1) 28.05.2014 з 08:31:30 (GMT) по 10:41:30 (GMT); 2) 29.05.2014 з 07:49:19 (GMT) по 09:59:19 (GMT). Тривалість другого етапу в часі була більшою, тому що вимірювальна апаратура вже була залишена у зоні вимірювань і не було потреби витратити час на її перенесення або налаштування. На обох етапах вимірювали трьома модифікованими сейсмометрами ВЕГИК (рис. 6, а), зорієнтованими по умовних напрямках і підключеними до станції УК15 (рис. 6, б), а також лазерним сейсмометром [Брицкий, 2014] і п'єзодатчиком.

Сейсмометр "N" був зорієнтований уздовж осі виробки (азимут 284°), сейсмометр "E" — розташований перпендикулярно до напрямку "N" (рис. 6, а). Осцилограми всіх трьох компонент цього процесу спостережень за 29.05.2014 р. представлено на рис. 7. Розглянемо декілька із записів, як незвичайні для аналітиків традиційних сейсмічних записів або специфіч-

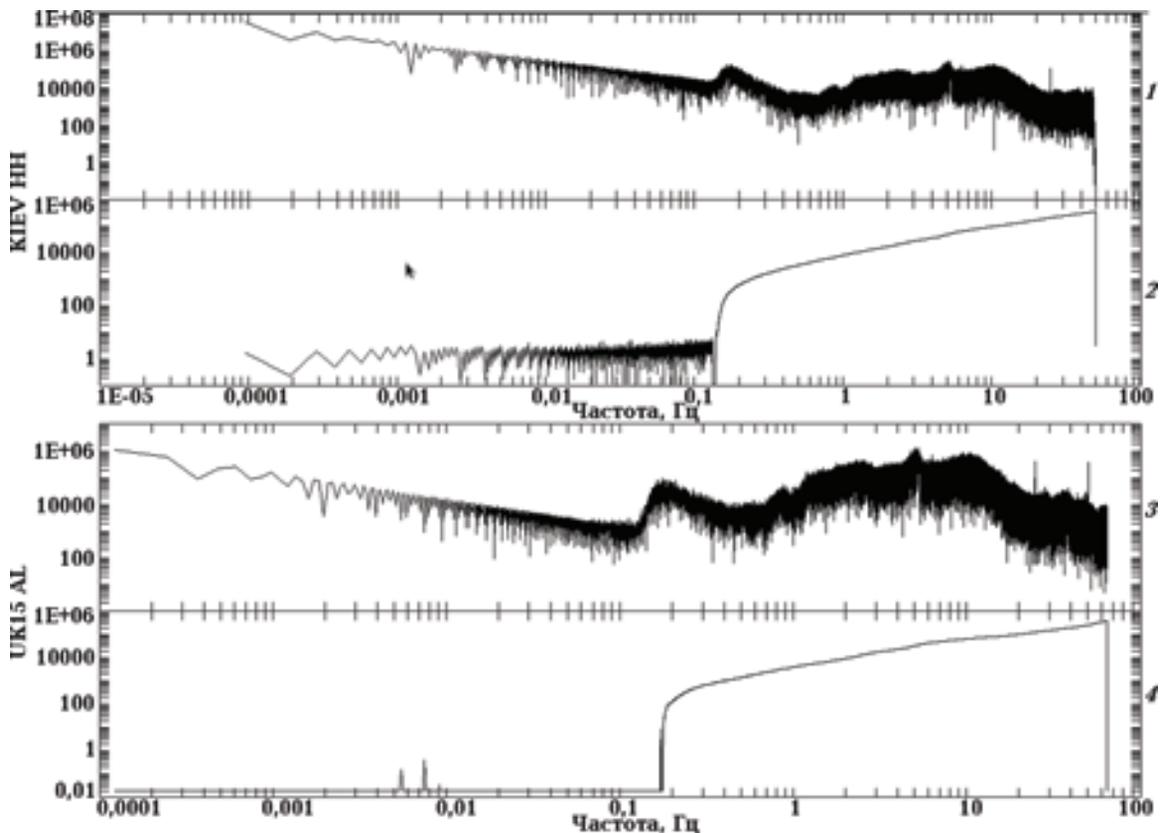


Рис. 5. Спектри і фази записів широкосмугових мікросейсмічних коливань, м. Київ, сейсмометри Guralp SMG 40T (1, 2) і модифікований ВЕГИК (3, 4).

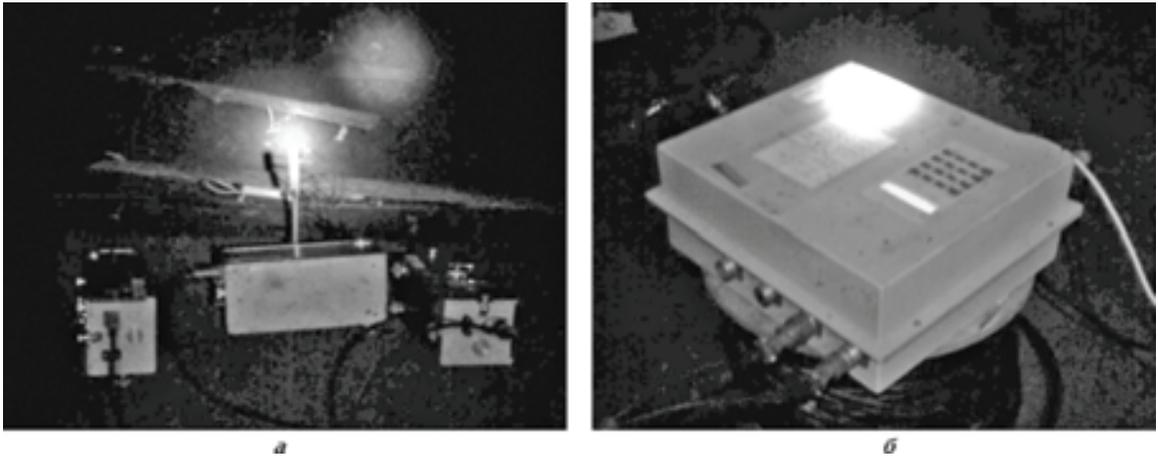


Рис. 6. Постановка вимірювань сейсмічних подій велосиметрами ВЕГИК: а — модифіковані сейсмометри ВЕГИК, п'єзодатчик вертикальний зліва внизу; б — станція UK15 для записів мікросейсмічної інформації з велосиметрів та п'єзодатчика.

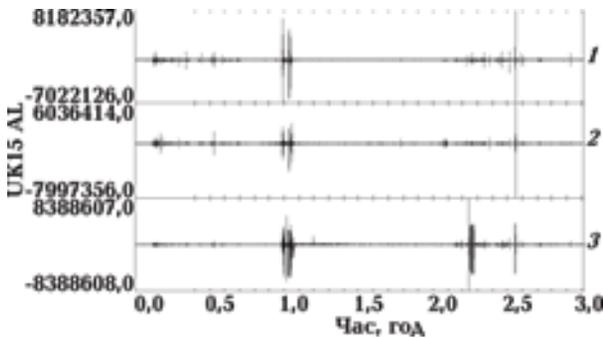


Рис. 7. Осцилограми коливань сейсмометрів ВЕГИК (1, 2) і п'єзодатчика (3) за 29.05.2014 з 07:55:59 до 10:56:04 (GMT). Тривалість записів 03 год і 01 хв.

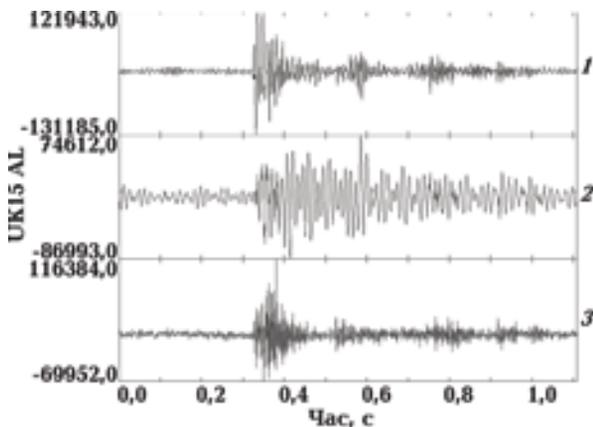


Рис. 8. Записи тріску (акустичного ефекту) сейсмометрами (1, 2) і п'єзодатчиком (3), зареєстрованого у точці спостережень (див. рис. 2, б; 6, а) 29.05.2014 о 08 год 07 хв (GMT).

ні для самої такої точки спостережень у шахті в зоні можливого наступного обвалу.

Найважливішими, з нашого погляду, є акустичні явища різного походження — тріски, які можуть чути люди, що працюють у шахті, та технічні вибухи з малою масою вибухівки, що дозволено проводити у шахтах. За відносним аналізом таких записів мікросейсмічних явищ різного типу цими пристроями можна оптимально підібрати необхідну і оптимальну систему спостережень небезпечних сейсмічних явищ різного походження.

Попередній аналіз записів акустичних ефектів — трісків у точці спостережень у шахті (рис. 8, 9) — різними пристроями реєстрації сейсмічної інформації, модифікованим сейсмо-

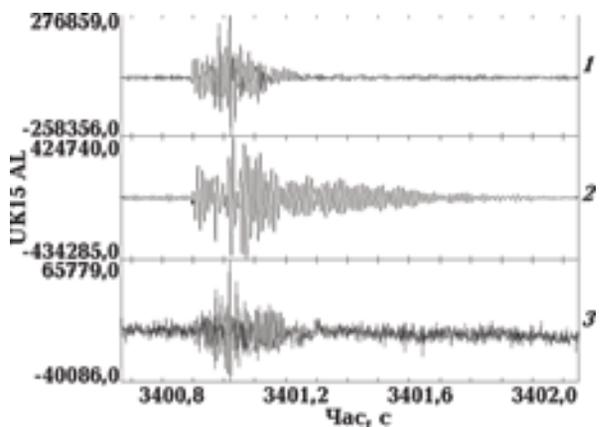


Рис. 9. Записи тріску (акустичного ефекту) сейсмометрами (1, 2) і п'єзодатчиком (3), зареєстрованого у точці спостережень (див. рис. 2, б; 6, а) 29.05.2014 о 08 год 52 хв (GMT).

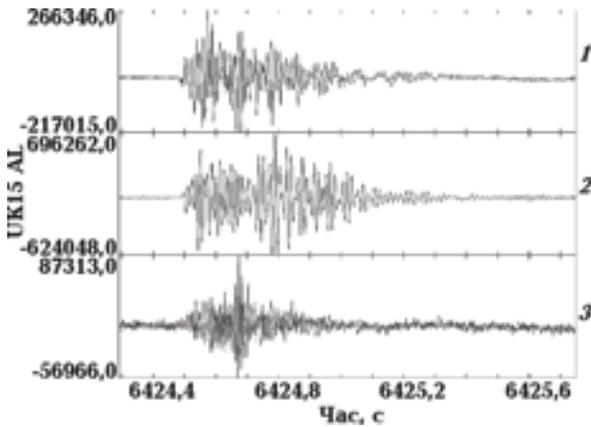


Рис. 10. Записи швидкості (1, 2) та прискорення (3) вибуху у шахті з масою 4 кг, що був проведений 29.05.2014 о 09 год 43 хв.

метром ВЕГИК і п'єзодатчиком показав, що найоптимальнішим пристроєм для реєстрації цих явищ у шахті є сейсмометр з високою чутливістю, який безпосередньо працює у режимі вимірювання швидкості поширення сейсмічних явищ, які трапляються достатньо часто у активних робочих зонах шахт. Наприклад, на рис. 9, 2 видно, що амплітуда запису швидкості у 10 разів перевищує амплітуду запису прискорення. Разом з тим тривалість самих записів швидкості є більшою у 3—4 рази, ніж записи амплітуди прискорення (див. рис. 8, 9). Крім мікросейсмічних явищ типу трісків у шахті в точці спостереження були ще зареєстровані технічні вибухи різного типу, що залежить від маси вибуху. Наприклад, на рис. 10 показано записи вибуху масою 4 кг, що відбувся о 09 год 43 хв (GMT), достатньо добре видно, що амплітуда запису швидкості поширення цього явища перевищує амплітуду запису прискорення у середньому в 3—4 рази. Зрівняльний аналіз записів показав, що тривалість записів швидкості теж є більшою, ніж прискорення, і перші вступі хвиль виражені достатньо чітко.

Під час проведення робіт з видобутку руди у ш. "Артем-1" з більшою кількістю вибухівки застосовують вибухи з уповільненням. За допомогою вибухівки масою, що перевищує норму, виконують спеціальні роботи з розподілення реалізації вибухів у часі з уповільненням. Таке сейсмічне явище техногенної природи, як розподілений у часі вибух, було зареєстровано 29.05.2014 о 10 год 18 хв (GMT) (рис. 11).

Приблизний розрахунок взаємовідношення амплітуд записів прискорення (рис. 11, 3) і швидкості поширення нарізного вибуху (рис. 11, 1,

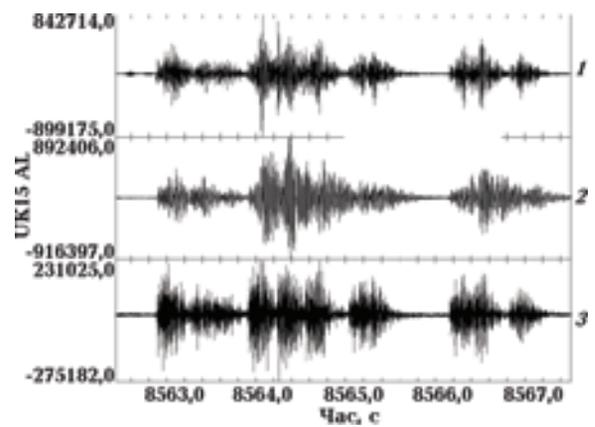


Рис. 11. Запис нарізного вибуху з масою 20 кг, виконаного у шахті "Артем-1" на глибині 1005 м 29.05.2014 о 10 год 18 хв (GMT) поруч з точкою спостережень.

2) показав, що амплітуда записів швидкості перевищує амплітуду запису прискорення у 1,5—2 рази. Тривалість самого нарізного вибуху становить приблизно 4 с. Затримки у часі між кожним окремим пакетом вибуху дорівнюють приблизно одній секунді. Амплітуда записів вибуху у форматі прискорення та швидкості досягає максимального значення у другій частині нарізного пакета (рис. 11).

У процесі досліджень явищ сейсмічності різного типу у ш. "Артем-1" особливу увагу треба приділити дуже важливому сейсмічному явищу, яке було зареєстровано під час виконання спостережень у цій шахті. Крім техногенних сейсмічних явищ там відбулося класичне сейсмічне явище — мікроземлетрус, який не є мікросейсмічним шумом підвищеної амплітуди, оскільки амплітуда записів швидкості поширення та прискорення цього явища є значно більшою (рис. 12). Воно відбулося о 08 год 27 хв 31 с 29.05.2014 (GMT).

Порівняльний аналіз записів швидкості поширення та прискорення природного мікроземлетрусу (рис. 12) показав, що амплітуди записів швидкості у 1,5—2 рази перевищують амплітуду прискорення. Сумарна тривалість цього мікросейсмічного процесу понад 0,5 с, що теж перевищує тривалість мікросейсмічних явищ типу трісків, оскільки середня тривалість типових мікросейсмічних трісків перевищує 0,2—0,3 с, амплітуда їх менша у 10—12 разів, ніж мікроземлетрусу.

Для попереднього аналізу всіх сейсмічних подій за період часу 29.05.2014 з 07:55:59 по 10:56:49 (GMT), які були спостережені і записані у ш. "Артем-1" на глибині 1005 м, складе-

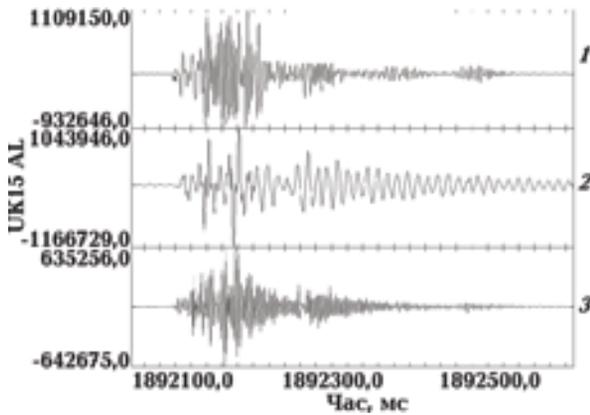


Рис. 12. Записи сейсмічного явища натурального характеру — мікроземлетрусу, зареєстрованого у шахті "Артем-1" на глибині 1005 м.

ний такий список типів мікросейсмічних подій, що були достовірно зареєстровані та частково оброблені:

- тріски — понад 11;
- вибухи — три, один з них нарізний;
- серія періодичних ударів (період 1 с) — одна група;
- шум невідомого походження — 1 од. ("Шубін");
- сильний транспортний шум — 1 од.;
- мікроземлетрус — 1 од.

Для глибшого розуміння природи усіх цих неординарних для сейсмології явищ різної природи, що трапились у шахті за період спостережень понад 3 год і були записані, корисно зробити спектральний аналіз окремих з них, тобто тих, що найбільш різняться з науково-технічного погляду. Базовим спектром для такого підходу до первинного аналізу незвичайних сейсмічних явищ має бути графік Фур'є-аналізу записів звичайного мікросейсмічного шуму, яким була наповнена уся зона досліджень у шахті за весь час спостережень. Для цього порівняльного аналізу вибрано лише записи модифікованих велосиметрів ВЕГИК, що були підключені на канали **Е (Z)** і **Н (N)**, і записи без спектрів Фур'є для вимірювача прискорення, що був підключений до каналу **Z** станції UK15 (див. рис. 6, а). Результати розрахунку показано на рис. 13, на якому видно, що основна полоса частот мікросейсмічного шуму у шахті має діапазон від 2 до 8 Гц. Максимальні піки частот припадають на частоти 60 і 80 Гц. Крім того, на вертикальному каналі **Е (Z)** (рис. 13, 1) є ще один пік частоти — майже 300 Гц. Його амплітуда на частоті 300 Гц для горизонтального

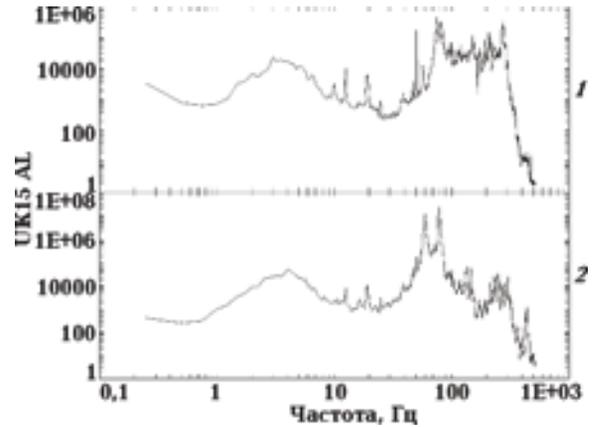


Рис. 13. Спектри Фур'є для двох записів з відносних каналів криворізької станції UK15 **Е (Z)**-1 і **Н (N)**-2, на які записаний чистий мікросейсмічний шум у шахті "Артем-1" на глибині 1005 м (див. рис. 6, а).

каналу значно менша (рис. 13, 2). Був також зроблений важливий спектральний аналіз записів трісків (акустичних ефектів), які іноді можна було почути і час яких записано у документи за спостереженнями у кінцевій точці ш. "Артем-1" (рис. 14).

Відносний аналіз піків спектрів (див. рис. 13, 14) показав, що тріски (акустичні ефекти) мають максимальну частоту у полосі частот коливань від 200 до 300 Гц.

Достатньо цікавим є результат спектрального аналізу Фур'є записів мікросейсмічного явища невідомого походження, яке деякі фахівці називають підземним шумом "Шубіна" (рис. 15). Згідно з первинним аналізом піків частот, що

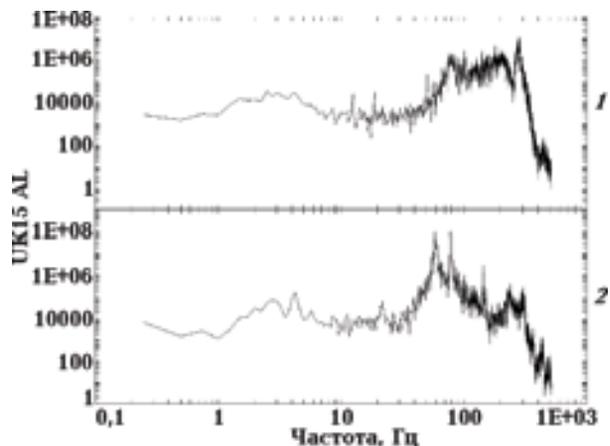


Рис. 14. Спектри Фур'є для двох записів трісків з відносних каналів криворізької станції у шахті "Артем-1" на глибині 1005 м UK15: 1 — **Е (Z)**; 2 — **Н (N)**.

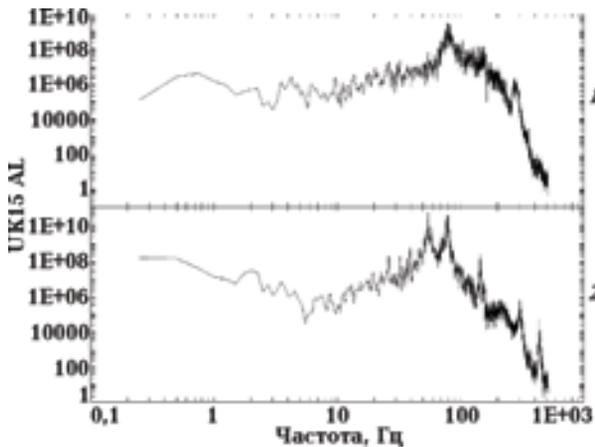


Рис. 15. Спектри Фур'є для двох відносних каналів криворізької станції UK15 E (Z)-1 і N (N)-2, на які записаний шум "Шубіна" у шахті "Артем-1" на глибині 1005 м.

відносно чітко відображені на спектральному графіку, цей особливий мікросейсмічний шум може мати різне походження. Насамперед він має достатньо широку полосу частот — майже від 10 до 100 Гц з максимальними значеннями 55 і 80 Гц відповідно. За цим діапазоном частот і наведеними максимальними значеннями згаданий шум можна віднести до традиційної групи записів звичайного транспортного шуму. Втім доволі різка форма першого початку записів вносить деякі сумніви. Слід порівняти форми запису звичайного транспортного шуму та сейсмічного явища типу підземного шуму "Шубіна". За чіткістю першої частини вказаний запис не можна зарахувати до групи записів звичайного транспортного шуму, оскільки

ки форма першого вступу більш подібна до сейсмічного явища типу землетрусу, який іноді має достатньо чіткий перший вступ. Інакше кажучи, ймовірно, відбувся деякий підземний процес невідомого походження, який розпочався з різкого зростання напруженого стану, потім його енергія повільно зменшувалася протягом понад 20 с. Це вдвічі коротше, ніж реальний транспортний шум потягу, що перевозить руду, який теж був зареєстрований у шахті о 10 год 00 хв по часу (GMT).

Висновки. Короткий аналіз викладеного показав, що тривалість робіт з реєстрації сейсмічних подій різного типу у шахті є недостатньою. Для повного розуміння великого обсягу питань і забезпечення безпеки та захисту від небезпечних сейсмічних явищ технічного походження, що вже достатньо часто трапляються у зоні шахт Кривого Рогу, ці роботи необхідно продовжувати безперервно. Небезпечні сейсмотектонічні явища техногенного походження у зонах активних робіт видобутку дуже корисної у комерційному сенсі залізної руди не зменшуватимуться. Для оптимальної автоматизованої обробки та ефективної інтерпретації отриманих результатів у вигляді сейсмічних записів треба, щоб покриття станціями сейсмічних спостережень у зонах видобутку руди складалося не менш ніж з чотирьох точок спостереження. Ця мінімальна кількість сейсмічних станцій спеціального призначення дасть змогу проводити ефективні спостереження для накопичення і статистичного аналізу результатів з метою забезпечення необхідної безпеки в разі поширення робіт з видобутку корисних копалин у Кривому Розі.

Список літератури

- Брицкий А.И. Совершенствование геофизических приборов на основе цифровой интерферометрии. 2014. <http://seismo.kiev.ua/Lasers/lasers.html>.
- Вилкул Ю.Г., Ступник Н.И., Бабец Е.К., Сова А.А. Создание региональной системы геомеханического мониторинга состояния массивов горных пород в зонах влияния пустот. 2013. КПИ. edu. ua/Files/Gn96/13.pdf.
- Вопросы подповерхностной радиолокации. Под ред. А.Ю. Гринева. Москва: Радиотехника, 2005. 416 с.
- Геология Криворожских железорудных месторождений. Под ред. Я.Н. Белевцева. Т. 2. Киев: Изд-во АН УССР, 1962. 568 с.
- Геолого-геофизическая модель Криворожско-Кременчугской шовной зоны Украинского щита. Под ред. Н.Я. Азарова. Киев: Наук. думка, 2006. 196 с.
- Криворожская сверхглубокая скважина СГ-8. Донецк: Ноудиж, 2011. 555 с.
- Маловичко Д.А., Линч Р.Э. Микросейсмический мониторинг бортов карьеров. Вестник МГТУ. 2009. Т. 12. № 4. С. 644—653.
- Паранько І.С., Смирнова Г.Я., Іванова О.В. Кри-

вий Ріг — потенційна зона виникнення техногенно-природних і техногенних надзвичайних ситуацій. *Геолого-мінералогіч. вістник. Криворізького нац. ун-ту.* 2005. № 1. С. 5—11.

Щербина С. В. Обзор некоторых цифровых сейс-

мических регистраторов ИГ НАНУ. *Геофиз. журн.* 2008 а. Т. 30. № 2. С. 83—90.

Щербина С. В. Программное обеспечение телеметрической системы сбора и обработки микросейсмических данных в режиме on-line. *Геодинамика.* 2008 б. № 1 (7). С. 110—115.

Investigation of micro-seismic phenomena of anthropogenic origin

© V.M. Zdeshchyts, O.A. Kalinichenko, P.I. Pigulevskyu, B.I. Rybalko, S.V. Shcherbina, 2015

The results of measurements of parameters of macroseismic effects in the mine "Artem-1" "ArselorMittal Krivoy Rog" at a depth 1005 m that accompany changes in the state of the rock mass have been considered. Frequency spectrum of acoustic phenomena of anthropogenic and non-anthropogenic origin has been determined. Preliminary classification of atypical microseismic phenomena in the mine has been conducted. Brief analysis of the data set forth has shown that duration of works on registration of seismic events of different types in the mine is insufficient. For complete understanding of the large amount of problems and guaranteeing protection and security from dangerous seismic phenomena of technical origin, which often occur in mining zones of Krivoy Rog these works should be uninterrupted.

Key words: mine, micro-seismic crack, micro-earthquakes, landslides, dips.

References

- Britskij A. I.*, 2014. Perfecting Geophysical Instruments Based On Digital Laser Interferometry. <http://seismo.kiev.ua/Lasers/lasers.html> (in Russian).
- Vilkul Yu. G., Stupnik N. I., Babets E. K., Sova A. A.*, 2013. Establishment of a regional system of monitoring geomechanical state of rock massifs in the zones of influence of the voids. 2013. knu.edu.ua/Files/Gn96/13.pdf (in Russian).
- Questions subsurface radar, 2005. Ed. A. Yu. Grinev. Moscow: Radiotekhnika, 416 p. (in Russian).
- Geology of Kryvoi Roh iron ore deposits, 1962. Ed. Ya. N. Belevtsev. Vol. 2. Kiev: Pub. House of the USSR AS, 568 p. (in Russian).
- Geological and geophysical model of the Krivoy Rog-Kremenchug suture zone of the Ukrainian Shield, 2006. Ed. N. Ya. Azarov. Kiev: Naukova Dumka, 196 p. (in Russian).
- Krivorozhskaya ultradeep well SG-8, 2011. Donetsk: Noulidzh, 555 p. (in Russian).
- Malovichko D. A., Linch P. E.*, 2009. Microseismic monitoring pit. *Vestnik MGTU* 12 (4), 644—653 (in Russian).
- Paranko I. S., Smirnova G. Ya., Ivanova O. V.*, 2005. Krivoy Rog — a potential area of man-made, natural and manmade emergencies. *Geologomineralogichnyy visnyk* (1), 5—11 (in Ukrainian).
- Shcherbina S. V.*, 2008 a. An overview of some digital seismic recorders IG NASU. *Geofizicheskiy zhurnal* 30 (2), 83—90 (in Russian).
- Shcherbina S. V.*, 2008 b. Software telemetry system for collecting and processing microseismic data in on-line. *Geodinamika* (1), 110—115 (in Russian).