

11. Пономаренко С.М. Обґрунтування режимів роботи та конструктивних параметрів вібраційно-пневматичних закладальних машин з кільцевим ежектором [Текст] :автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.06 / Пономаренко Сергій Миколайович ; НАН України, Ін-т геотехн. механіки ім. М. С. Полякова. - Д., 2011. - 19 с.
12. Механика вибрационно-пневматических машин эжекторного типа/В.Н. Потураев, А.Ф. Булат, А.И. Волошин, С.Н. Пономаренко, А.А.Волошин. – Киев: Наукова думка, 2001. – 176 с.
13. Кириченко Е.А. Динамика глубоководных гидроподъемов в морском горном деле/Е.А. Кириченко, В.Г. Шворак, В.Е. Кириченко, В.В.Евтеев –Д.:НГУ,2010.–259 с.
14. Потураев В.Н. Вибрационная техника и технология в энергоемких производствах / В.Н. Потураев, А.П. Франчук, В.П. Надутый.– Днепропетровск: НГА Украины, 2002.–186 с.

УДК 550.348.334 (477.63)

П.Г. ПІГУЛЕВСЬКИЙ, д-р геол. наук, с.н.с., Інститут геофізики ім. С.І. Суботіна НАНУ,
В.К. СВИСТУН, член-кор. АГНУ, канд. геол. наук, директор ДГЕ «Дніпрогеофізика»,
С.В. ЩЕРБІНА, канд. фіз.-мат. наук, с.н.с., Інститут геофізики ім. С.І. Суботіна НАНУ,
Д.В. МАЛИЦЬКИЙ, д-р фіз.-мат. наук, проф., Інститут геофізики ім. С.І. Суботіна НАНУ,
Ю.А. АНДРУЩЕНКО, канд. геол. наук, головний центр сейсмічного контролю ДКАУ

ПРО СЕЙСМІЧНІСТЬ ТЕРИТОРІЇ КРИВБАСУ ЗА ПЕРІОД 2011-2020 РОКИ

Мета. Аналіз результатів зафіксованих сейсмічних подій на протязі 2011-2022 рр. на території Криворізького залізничного басейну та прилеглих до нього районів для встановлення особливостей сейсмічних подій та уточнення природи їх походження.

Методи дослідження. Реєстрація цифровими станціями Головного центру спеціального контролю Державного космічного агентства України і Інституту геофізики ім. С.І. Суботіна НАН України сейсмічних подій в центральній частині України з наступною первинною обробкою спостережень системами WSG (Росія) та “SeisComP3” виробництва “DeutschesGeoForschungsZentrum GFZ” (Германія).

З урахуванням літературних джерел виконано аналіз та синтез зафіксованих протягом 2011-2020 рр. даних про сейсмічні події в Криворізькому басейні з метою встановлення їх природи. Проаналізовано питання впливу природних та техногенних факторів на виникнення локальних землетрусів на території Кривбасу, яка є складовою частиною Західно-Інгулецько-Криворізько-Кременчуцької шовної зони.

Наукова новизна. Дослідження показали, що природа місцевих землетрусів переважно має індукований характер за рахунок потужних промислових вибухів в кар’єрах та шахтах. Однак, є локальні землетруси, які відбуваються в зонах тектонічних розломів за межами території Кривбасу, що свідчить про зміну пружно-деформаційного стану земної кори в центральній частині Українського щита.

Практична значимість. Результати досліджень дозволяють вирішити ряд важливих проблем гірничої геології: визначення зв’язку приповерхневих і глибинних структур, впливу геолого-тектонічної будови на оптимізацію процесу вибухових робіт при видобутку руди.

Результати. Проаналізовано результати обробки сейсмічних подій на території Кривбасу за період з 2011 по 2020 роки. Виконане узагальнення за цей період часу показує, що українськими сейсмостанціями зафіксовано в районі Кривбасу понад тисячу потужних промислових вибухів з $m_b \geq 2,0$. При цьому локальні сейсмічні події в Кривбасі з високим рівнем техногенного навантаження мають, здебільшого, незначну магнітуду. За останні 10 років в районі Кривбасу зареєстровано 19 сейсмічних подій тектонічного походження з $m_b = 2,1-4,5$. Природа місцевих землетрусів переважно має індукований характер за рахунок потужних промислових вибухів в кар’єрах та шахтах. Зафіксовані локальні землетруси в зонах тектонічних розломів розташовані в ослабленій зоні центральній частині Українського щита, що може свідчити про зміну пружно-деформаційного стану геологічного середовища навколо Кривбасу.

Ключові слова: промисловий вибух, сейсмічна подія, розривна тектоніка, геодинамічна рівновага, локальний землетрус.

doi:10.31721/2306-5435-2022-1-110-85-92

Проблема та її зв’язок з науковими та практичними завданнями. Сейсмічність території Кривбасу викликає багато питань про причини походження місцевих землетрусів. За період з моменту встановлення станції у м. Кривий Ріг за адресою вул. Геологічна, 2а, нею було зареєстровано десятки місцевих сейсмічних подій.

Кількість сейсмічних подій у Кривбасі з 2011 по 2020 рр.

Рік	Кількість сейсмічних подій	Кількість землетрусів
2011	53	1
2012	60	1
2013	51	2
2014	74	–
2015	47	–
2016	55	1
2017	80	3
2018	198	3
2019	205	6
2020	186	2
Усього	1009	19

Переломний момент для буро-вибухових робіт в кар'єрах і шахтах розпочався з 2018 р., коли їх кількість та потужність збільшилась у декілька разів [8].

Проведений аналіз літературних джерел показує, що на основі порівняння форми запису і спектрограм землетрусів та вибухів у кар'єрах і шахтах в районі м. Кривий Ріг можливо отримати відмінності різних сейсмічних подій та класифікувати їх природи.

Потужні вибухи у шахтах, при яких значення магнітуди m_b перевищувало 3,0 проводилися на глибині від 475 до 1300 м. Для зниження сейсмічного ефекту місця розташування вибухової речовини передбачає розподіл їх по площі з затримкою вибухів у часі. В результаті амплітуда P -хвилі сумарного сигналу стає меншою, а P -коду більш ускладненою, ніж у випадку поодинокого вибуху тієї ж потужності. Форма сигналу схожа на запис землетрусів, але через інтерференцію коливань спектр сигналу змінюється.

За період 2011-2020 рр. серед загальної кількості сейсмічних подій у межах Кривбасу на основі порівняння форми запису і спектрограм землетрусів та вибухів у кар'єрах і шахтах можливо віднести до землетрусів 19 подій (табл. 2, рис. 2), при цьому дев'ять з них відбулися в пізній або нічний час. Значення магнітуди землетрусів в табл. 2 наведено за розрахунками ГЦСК ДНАУ [8].

Таблиця 2

Локальні землетруси у Кривбасі за період 2011-2020 рр.

Дата міс. день. рік	Час год. хв. сек	Координати гіпоцентру			Магнітуда
		λ , °E	φ , °N		
1.14.2011	5:03:12	33,4	48,1	1.14.2011	5:03:12
28.11.2012	20:47:43	33,5	48,1	28.11.2012	20:47:43
1.04.2013	9:00:08	33,26	47,7	1.04.2013	9:00:08
6.23.2013	21:16:33	33,5	48,08	6.23.2013	21:16:33
12.05.2016	1:51:29	33,25	47,82	12.05.2016	1:51:29
1.18.2017	4:55:46	33,49	48,04	1.18.2017	4:55:46
7.29.2017	3:31:02	33,53	48,01	7.29.2017	3:31:02
11.13.2017	11:59:35	33,43	48,11	11.13.2017	11:59:35
2.19.2018	0:35:03	33,45	47,86	2.19.2018	0:35:03
6.29.2018	14:44:29	33,49	48,05	6.29.2018	14:44:29
6.30.2018	4:00:47	33,41	48,04	6.30.2018	4:00:47
5.24.2019	4:00:04	33,49	48,04	5.24.2019	4:00:04
11.09.2019	19:19:05	33,49	48,05	11.09.2019	19:19:05
11.10.2019	20:19:25	33,46	48,03	11.10.2019	20:19:25
11.10.2019	22:00:44	33,51	48,08	11.10.2019	22:00:44
12.07.2019	5:00:38	33,47	48,04	12.07.2019	5:00:38
12.28.2019	5:03:00	33,48	48,06	12.28.2019	5:03:00
9.30.2020	19:59:45	33,36	48,14	9.30.2020	19:59:45
6.12.2020	4:00:10	33,46	48,03	6.12.2020	4:00:10

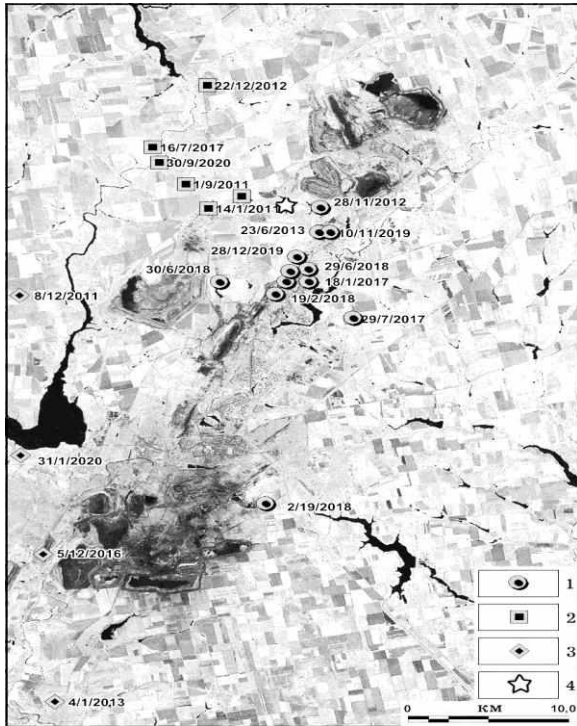


Рис. 2. Розташування в районі Кривбасу епіцентрів землетрусів на основі космічного знімку Landsat-6. Умовні позначення: Потужні сейсмічні події в зоні видобування корисних копалин – 1; на північному заході від зони видобування корисних копалин – 2; імовірна лінійна тектонічна зона сучасної активізації – 3; положення НГ-8 - 4

Особливості записів і спектрограм сейсмічних подій з магнітудою $m_b \geq 3,0$.

Поверхневі хвилі на записах вибухів в шахтах переважають амплітуди об'ємних хвиль, їх амплітуди значно вищі [2,3,8,15,19]. Максимум спектральної щільності в інтервалі запису L_g -хвилі спостерігається в діапазоні частот 1-25 Гц, L_R -хвилі - в смузі до 1 Гц. Основна енергія від вибухових джерел проявляється в інтервалі запису поверхневих хвиль. Складність вивчення природи сейсмічних подій пов'язана з тим, що сейсмічними джерелами є не самі вибухи у шахті, а їх наслідки - подрібнення та зрушення гірських порід, просідання, які на спектрограмах сейсмічних подій різного походження, навіть при однаковому рівні магнітуди, відрізняються. Спектрограми землетрусів в порівнянні зі спектрограмами вибухів більш насичені, без наявних згасань; чіткі максимуми спектральної щільності зафіксовано в смузі запису L_g - і L_R -хвиль. При вибухах збільшення спектральної щільності на спектрограмах відзначено в інтервалі запису P - і L_g -хвиль, далі на записі проходить її різке згасання.

Для визначення природи сейсмічних подій 23 та 30 вересня 2020 року у м. Кривий Ріг було виконано спектральний Фур'є-аналіз трьох компонентного запису цих подій (рис.3а, 3б, рис. 4а, 4б).

При вибухах в кар'єрі АТ «ПВДГЗК» (маса заряду до 500 т) спектр також знаходиться в діапазоні частот до 25 Гц (рис. 3а, 4а) з максимумами у смузі частот від 4 до 12 Гц, але на відміну від вибухів у шахтах, максимумами спектральної щільності простежуються не в інтервалі запису L_g -хвилі, а в цузї L_R -хвилі в смузі частот до 1 Гц. Максимуми спектральної щільності коливань від землетрусу і від вибуху співпадають, але мають меншу амплітуду. Зменшення амплітуди спектральних значень при землетрусі пояснюється тим, що він відбувся на відстані 23,3 кілометра від точки реєстрації, а вибух на віддаленні 10,2 кілометра [19].

На рис. 3б та 4б показано запис і спектрограма Криворізького землетрусу, зареєстрований на станції, розташованого безпосередньо на території Кривого Рогу (на виробничій базі ДГЕ «Дніпрогеофізика»).

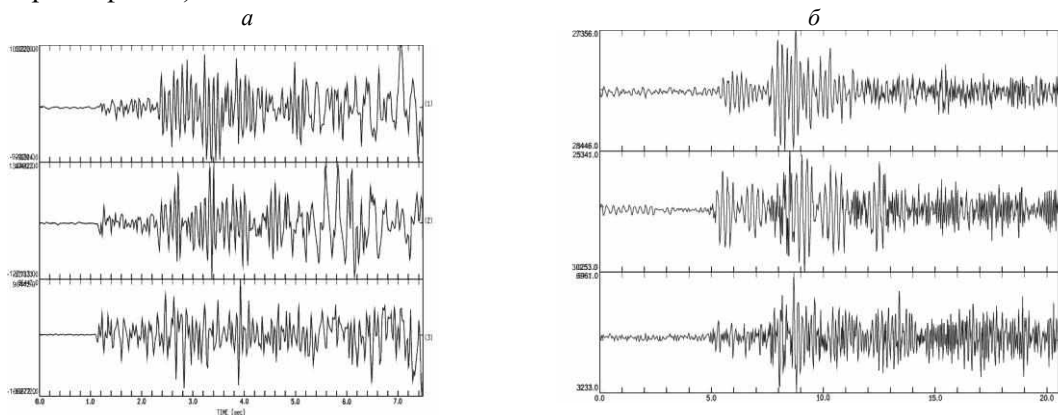


Рис. 3. Трикомпонентні записи (зверху вниз - EW, NS та Z) потужного вибуху в кар'єрі АТ «ПВДГЗК» 23 вересня 2020 р. (а) та землетрусу 30 вересня 2020 р. сейсмічної станцією, розташованій у м. Кривий Ріг (б)

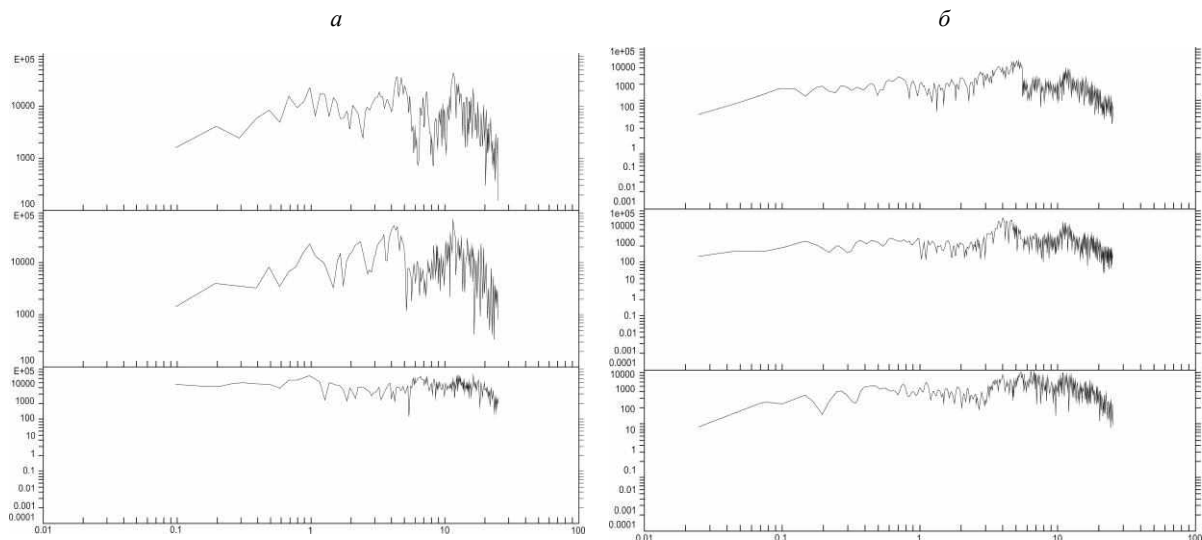


Рис. 4. Спектри Фур'є по трьох компонентах запису (зверху вниз - EW, NS та Z) потужного вибуху в кар'єрі АТ «ПівдГЗК» 23 вересня 2020 р. (а) та землетрусу 30 вересня 2020 р. (б)

Результати порівняльного аналізу цих записів свідчать, що в Кривому Розі 30 вересня 2020 року відбувся природний землетрус, а не потужний промисловий вибух [19]. Такий висновок ґрунтується на таких ознаках:

- наявність двох фаз P_n та P_g на першій частині запису (див. рис. 4б);
- наявність двох фаз S_n та S_g на другій частині запису (див. рис. 4б) - на записах вибуху (див. рис. 4а) цих фаз немає;
- наявність двох фаз L_q та L_r (рис. 4б) після фаз S_n та S_g - на записах вибухів немає L_q , присутня тільки L_r (див. рис. 4а).

Отже, згідно з ознаками сейсмічної події, наведеними на рис. 3,4, на записах спостерігається типовий для землетрусу змінний за амплітудою розподіл енергії сейсмічних хвиль у різних азимутальних квадрантах, у яких почергово домінує P або S хвиля; на записах спостерігається поверхнева хвиля Лява L_q , нетипова для запису вибухів (відношення значень амплітуди хвилі P до амплітуди хвилі S є меншим від 1).

У подальшому, визначення параметрів осередку землетрусу 30 вересня 2020 р. було проведено методом статистичної обробки результатів з використанням записів події на восьми найбільш близьких сейсмічних станціях України та Молдови.

Оцінка параметрів землетрусу 30.09.2020 (20: 00: 40.836) з магнітудою 3.0 ± 0.3 дала значення координат епіцентру [19]: Lat=48.1417N, Lon=33.3372E. Глибину $h=1.82$ км.

Визначення параметрів вогнища землетрусу від 30.09.2020. Нами було застосовано метод інверсії хвильових форм для визначення механізму вогнища землетрусу з використанням даних малої кількості станцій [19]. Вхідними даними є записи сейсмічних хвиль на станціях i , так зване, узагальнене точкове джерело, яке представлено симетричним тензором сейсмічного моменту (рис. 5).

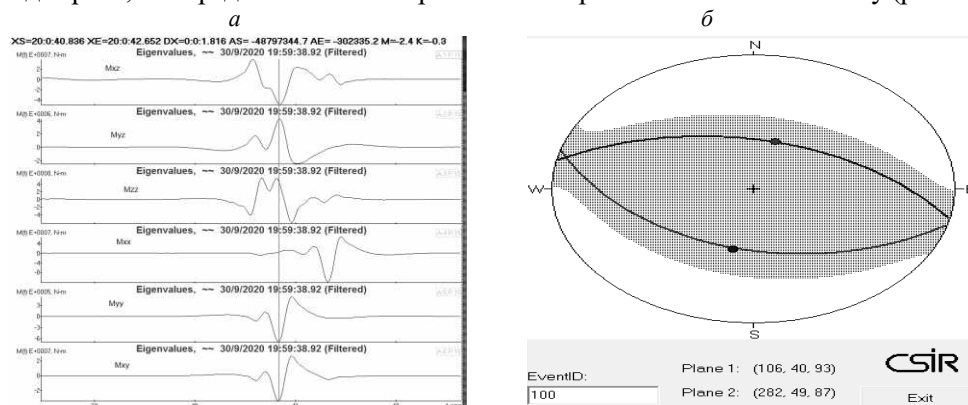


Рис. 5. Тензор сейсмічного моменту, який визначено за інверсією хвильових форм [19] із використанням записів на станції MIU (47.93248N, 33.33289E). Вертикальна лінія на графіку - час початку землетрусу: 20:0:40.836, який визначено в результаті обертання хвильових форм (а); фокальний механізм землетрусу, який визначено за даними тензора сейсмічного моменту (б)

Розрахунки показали, що механізм вогнища землетрусу відповідає насуву з правостороннім здвигом.

Епіцентр землетрусу знаходиться на межі Інгулецької банеподібної структури і Криворізького синклінорія (монокліналі). Перша складена неoarхейськими плагіограніт-мігматитами інгулецького комплексу [1,5,9,14], в якому згасає довгоживуча субширотна зона Девладівського розлому. За геологічними картами [5] розлом не проходить через Криворізький синклінорій, але на захід від нього спостерігаються окремі розломи того ж напрямку. При цьому епіцентр землетрусу тяжіє до його пересічення з одним з лінійних субмеридіональних відгалуджень зони Криворізько-Кременчуцького глибинного розлому, до якого приурочена Іскрівська тектоно-метасоматична зона.

Як показано на рис. 2, з 19 локальних землетрусів 9 індукованих землетрусів відбулися в північній частині Кривбасу (Тернівський район), де за нашими тектонічними побудовами Криворізько-Кременчуцьку зону розломів [10,13,14,19] перетинає більш молода система порушень з азимутом простягання 295° . У цілому, в цій частині Кривбасу спостерігається розтягнення верхньої частини земної кори, що супроводжується провалами земної поверхні. Інші 10 локальних землетрусів розташовані за межами Кривбасу і приурочені до зон глибинних тектонічних порушень.

У південній частині Кривбасу відмічається досить стабільний стан геологічного середовища верхнього шару земної кори.

Наявність серії природних землетрусів за межами Криворізького синклінорія показує сучасний стан геодинамічної ситуації навколо видобувної території, де в часі змінюються пружно-деформаційні властивості верхньої частини земної кори, що і є джерелом їх походження.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Локальні сейсмічні події, що відбуваються в тектонічно та техногенно ослаблених зонах району Кривбасу, мають, здебільшого, невелику магнітуду. Вплив вибухових робіт на прояв окремих землетрусів обґрунтовується збігом часу реєстрації з часом проведення потужних вибухів в шахтах. Для локальних землетрусів і промислових вибухів в кар'єрах та шахтах в межах Кривбасу форма записів та спектрограми мають суттєві відмінності.

Глибина осередків землетрусів 2011-2020 рр. переважно складає 5-10 км і характеризує нестабільний стан середовища верхнього шару земної кори на межі замикання Криворізького синклінорія та підстилаючих його гранітоїдів.

Переважає розміщення епіцентрів землетрусів зафіксовано в північній частині Криворізької структури. Близькість їх осередків до зони Тарапаківського і Саксаганського розломів, які контролюють положення родовищ багатих залізних руд. Зона знаходиться в критичному напружено-деформованому стані, основною причиною якого є розробка родовищ багатих руд на великих глибинах і переміщення величезних мас (кар'єр, шахта - відвал, хвостосховище) у просторі та часі, які порушують літостатичний стан геологічного середовища.

У південній частині Кривбасу відмічається досить стабільний стан геологічного середовища верхнього шару земної кори.

Отримані результати досліджень дозволяють прогнозувати, виникнення індукованих землетрусів на території Кривбасу, зони деформацій яких можуть поширюватися, як в райони діючих шахт, так і в агломерацію м. Кривий Ріг, що може призводити до сейсмо-техногенних подій значної магнітуди.

Для прийняття оперативних рішень пропонується створити стаціонарну локальну сейсмічну мережу (з мінімальною кількістю станцій не менше 4), яка може ефективно дозволити реалізовувати таке:

реєструвати індуковані землетруси з більшою роздільною здатністю з використанням точного визначення їх координат та глибин;

оцінювати механізми вогнищ індукованих природних і тектонічних землетрусів, що можуть виникати після проведення гірничих робіт різного типу;

визначати напружено-деформований стан геологічного середовища методом оцінки рівня мікросейсмічної інтенсивності з метою прийняття відповідних заходів безпеки при розробці перспективних планів розвитку кар'єрів і шахт.

На першому етапі досліджень, Інститут геофізики ім. С.І. Суботіна НАНУ пропонує використати 2 пристрої – велосіметр МІУ-04 власної розробки і акселерометр виробництва англійської фірми

GURALP разом з сучасним програмно-апаратурним забезпеченням ТОВ “Роден” (м. Київ). Комплекс дозволяє одержувати інформацію про сейсмічні події з їх наступною обробкою в онлайн-режимі і накопиченні в базі даних [21]. Один пристрій пропонується розташувати на півдні м. Кривий Ріг (Інгулецький район), другий - на півночі (Тернівський район).

Список літератури

1. Азаров Н.Я., Анциферов, А.В., Шермет Е.М., Глевасский Е.Б., Есипчук К.Е., Кулик С.Н., Бурахович Т.К., Пігулевський 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. - Киев: Наук. думка, 2006. - 196 с.
2. 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.
3. 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.
4. Габсатарова И.П., Кендзера А.В., Надежка Л.И., Пігулевський П.И., Коломиец М.В., Пивоваров С.П. Новое сейсмическое событие в Криворожье и механизм его очага // Вестник ВГУ. Серия: Геология, 2013. - №2. - С.134-140.
5. Захаров В.В. Мартинюк А.В., Токар Ю.Н. 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.
6. Здешиц В.М., О.А. Калініченко, Пігулевський П.Г., Рибалко Б.І., Щербіна С.В. Дослідження мікросейсмічних явищ техногенного походження // Геофиз. журн., 2015. - №5 (37). – С.132-142.
7. Кендзера О.В., Кутас В.В., Андрущенко Ю.А., Пігулевський П.Г., Лісовий Ю.В. Сейсмічність центральної частини Українського щита у період з 2007 по 2013 роки. Геодинаміка, 2014. 1(14). - С.144-158.
8. Кендзера О.В., Пігулевський П.Г., Андрущенко Ю.А. Особливості сейсмічності території Кривбасу. Допов. Нац. акад. наук Укр. 2021. № 6. С. 87-96. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2021.06.087> Особливості сейсмічності території Кривбасу
9. Курлов Н.С., Шермет Е.М., Козарь Н.А., Гурский Д.С., Гейченко М.В., Щербак Н.П., Старостенко В.И., Зарицкий А.И., Белевцев Р.Я., Анциферов А.В., Глевасский Е.Б., Кулик С.Н., Бурахович Т.К., Пігулевський П.И., Агаркова Н.Г. и др. Криворожская сверхглубокая скважина СГ-8. - Донецк: «Ноулдж», 2011. - 555с.
10. Пігулевський П.И., Свистун В.К., Щербіна С.В. О тектоническом строении, геодинамических и сейсмологических особенностях Кривбасса. Екологія і природокористування: Зб. наук. праць ІППЕ НАНУ, 2013. - вип.17. - С.37-46.
11. Пігулевський П.Г., Свистун В.К., Щербіна С.В. Про розвиток системи реєстрації і аналізу неординарних сейсмічних подій в Кривбасі // Зб. наук. праць КНУ. Кривий Ріг, 2014. - 28-37.
12. Пігулевський П.И., Свистун В.К., Щербіна С.В. О сейсмическом событии в Кривбассе (Украина) и механизме его очага // Вестник ВГУ. Серия: Геология, 2015. №1. - С. 102-108.
13. Пігулевський П.И. О современной активизации докембрийских глубинных разломов Украинского щита // Сборник НГУ, 2015. № 46. - С. 38-44.
14. Пігулевський П.Г., Свистун В.К., Мечніков Ю.П., Кирилюк О.С., Лісовий Ю.В. Особливості диз'юнктивної тектоніки Криворізького залізорудного району / Геофизический журнал, 2016. - №5(Т.38). - С. 154-163.
15. Пігулевський П.Г. Природа Криворізького землетрусу 29 липня 2017 року / П.Г. Пігулевський, О.В. Кендзера, С.В. Щербіна, С.Т. Вербицький, Л.А. Шумлянська, О.О. Калініченко, І.Ю. Гурова, В.А. Ільєнко // Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету, 2017. - №1 (37). - С. 92-104.
16. Пігулевський П.Г. Про розвиток системи реєстрації і аналізу неординарних сейсмічних подій в Кривбасі / П.Г. Пігулевський, С.В. Щербіна, В.К. Свистун // Сб. научн. трудов. Качество минерального сырья. Изд. ФОП Чернявский Д.А. Кривой Рог, 2017. - т. 1. - С. 301-318.
17. Програма обробки сейсмічних записів WSG. [Електронний ресурс]; режим доступу: http://www.ceme.gsras.ru/new/wsg_arm.htm.
18. Свистун В.К., Пігулевський П.И. Результаты комплексных геофизических исследований по трассе Криворожского скоростного трамвая // Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету. – 2016. – № 2 (36).– 2016. С.37-45.
19. Щербіна С.В., Пігулевський П.Г., Гурова І.Ю., Амашукелі Т.А., Шумлянська Л.О., Калініченко О.А., Калітова І.А., Малицький Д.В., Нікулін В.Г., Вербицький С.Т. Сейсмічні події і тектоніка Кривбасу / Геофиз. журнал – 2021. – № 6,Т.43. – С.248-265. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i6.251566>
20. 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.
21. <https://geofon.gfz-potsdam.de/old/eqinfo/seismon/globmon.php>.