

УДК 550.334 (477.63)

Пігулевський П.Г., Кендзера О.В., Шербіна С.В., Вербицький С.Т., Шумлянська Л.А., Калініченко О.О., Гурова І.Ю., Ільєнко В.А., Амашукелі Т.А., Чалий О.О.

ПРИРОДА КРИВОРІЗЬКОГО ЗЕМЛЕТРУСУ 29 ЛИПНЯ 2017 РОКУ

Встановлена природа криворізького землетрусу 29 липня 2017 року, отримані максимумально коректні значення параметрів землетрусу, визначене положення осередка землетрусу в межах конкретної розривної структури, розглянуті природні й техногенні причини сейсмічної активізації розлому. Обґрунтована необхідність створення локальної мережі автоматизованих пунктів сейсмічних спостережень з метою моніторингу зміни напружено деформованого стану геологічного середовища.

Вступ. Сейсмічна подія, яка трапилась в м. Кривому Розі 29 липня 2017 р. о 03:31 GMT (06:31 за місцевим часом), була зафіксована десятками сейсмічних станцій України, Молдови, Румунії та Росії. В Україні її зафіксували сейсмічні станції Інституту геофізики НАН України та Головного центру спеціального контролю Національного космічного агентства України (ГЦСК НКАУ), розташовані в Кривому Розі, Полтаві, Дніпрі, Кременчуці, Макарові, на Закарпатті та на території Запорізької АЕС. В Румунії подію зареєструвала сейсмічна обсерваторія MLR. Попередня оперативна обробка події була проведена у ГЦСК НКАУ (м. Макаров). Було встановлено, що магнітуда землетрусу дорівнює 4,3; було також визначене місце розташування його епіцентру в районі м. Кривого Рогу. Землетрус відчувався багатьма мешканцями міста, але пов'язані з ним небезпечні наслідки не були зафіксовані.

В криворізьких інтернет-новинах було повідомлено, що землетрус мав техногенний характер і був спровокований вибухом у шахті, який стався напередодні. В соціальних мережах з'явилися також інші гіпотези неспеціалістів. З'ясування природи та побудова фізично коректної моделі цієї події є важливою зада-

чею, оскільки сейсмічність району Кривого Рогу аномально зростає.

Методи визначення природи досліджуваного явища та отримані результати. Для визначення природи сейсмічної події був використаний метод сепарування промислових і ядерних вибухів від природних і техногенних землетрусів, який використовується міжнародною системою сейсмічних спостережень за нерозповсюдженням ядерної зброї [10] (рис. 1).

Ефективність використання зазначеного методу відокремлення природних землетрусів від вибухів на території України демонструє карта положення осередків 80 вибухів, які були зареєстровані станцією KIEV-IRIS (USGS) за період з 13 квітня до 6 жовтня 2011 р. Вони були ідентифіковані як вибухи в Національному центрі сейсмологічних даних (НЦСД) Інституту геофізики (ІГФ) НАН України в м. Києві (рис. 2).

Метод відокремлення природних землетрусів від вибухів базується на порівнянні форм запису дослідженої сейсмічної події з записами потужних вибухів і локальних природних землетрусів.

Запис одного з потужних вибухів, який від-

бувся 8 вересня 2011 року о 09:12 GMT на території України, був зареєстрований станцією KIEV-IRIS (USGS) і позначений на карті (рис. 2), показаний на рис. 3.

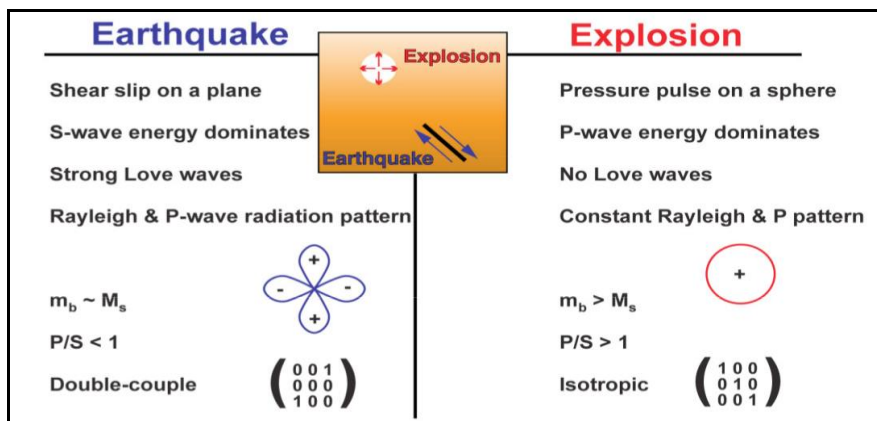


Рис. 1. Основні ознаки відокремлення природних землетрусів від вибухів [10].

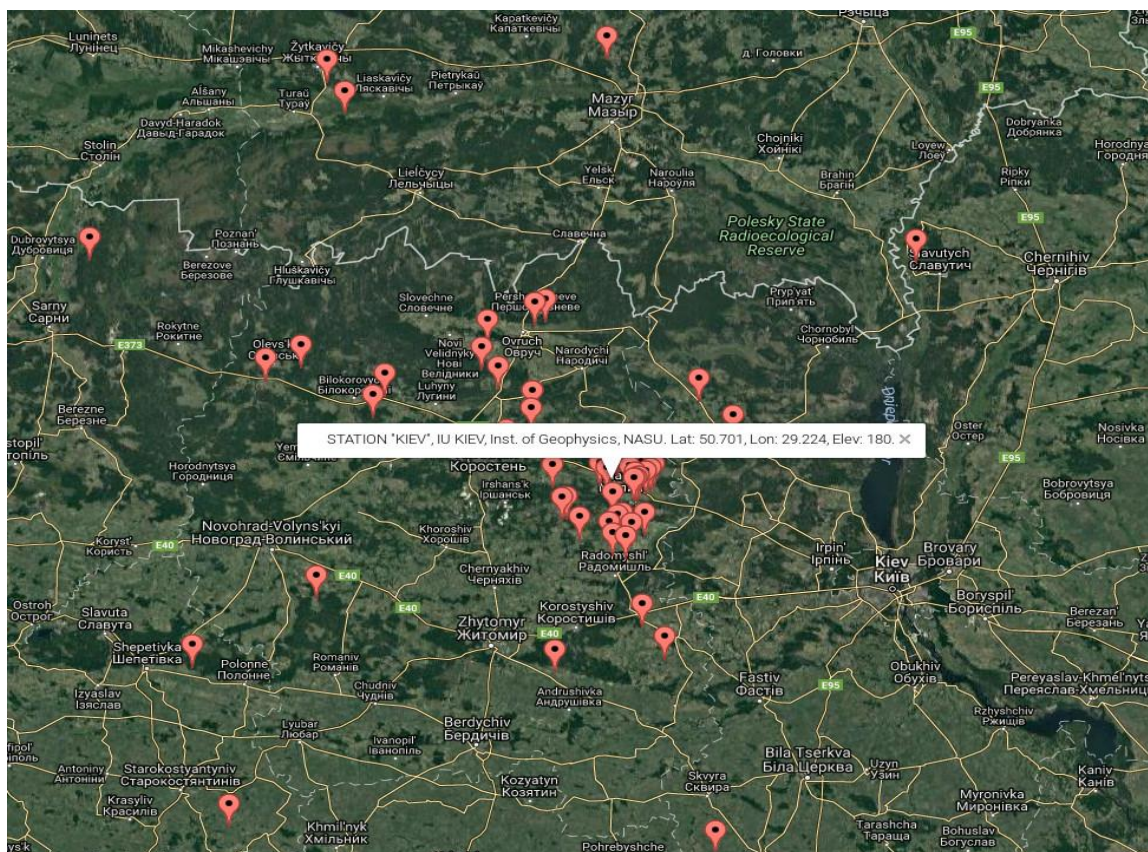


Рис. 2. Карта техногенних сейсмічних подій (вибухів), зареєстрованих станцією KIEV-IRIS (USGS) з 13 квітня до 6 жовтня 2011 року. Аналіз типу подій виконаний НЦСД ІГФ НАН України [5].

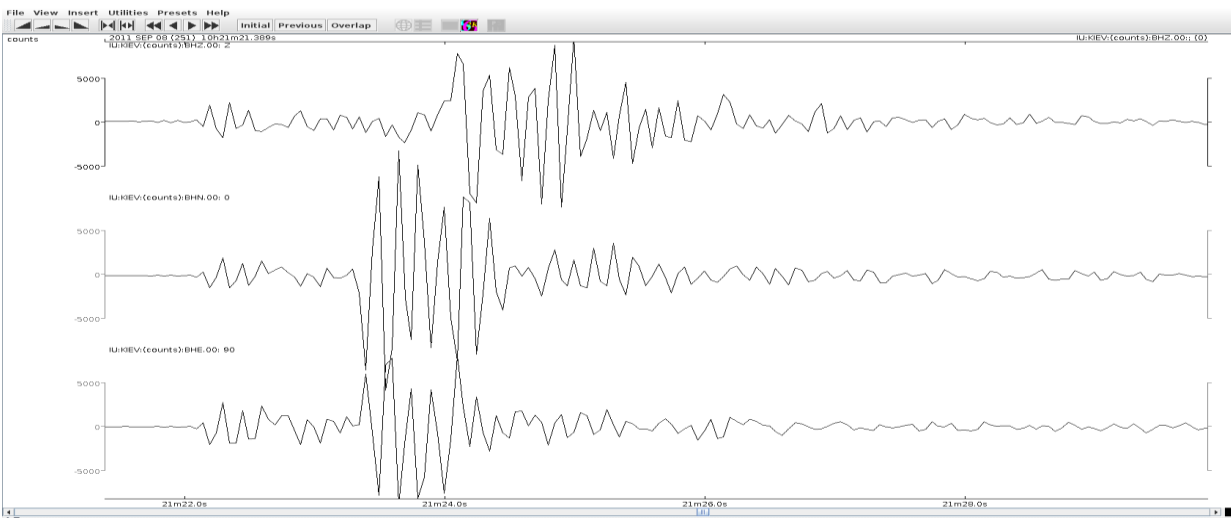


Рис. 3. Запис техногенної сейсмічної події типу «вибух», зареєстрованої станцією KIEV-IRIS 8 вересня 2011 р. о 09:12 GMT і позначеної на карті (рис. 2).

На рис. 4 представлений запис дослідженої криворізької сейсмічної події, записаної сейсмічною станцією PDU0, розташованою на території Запорізької АЕС.

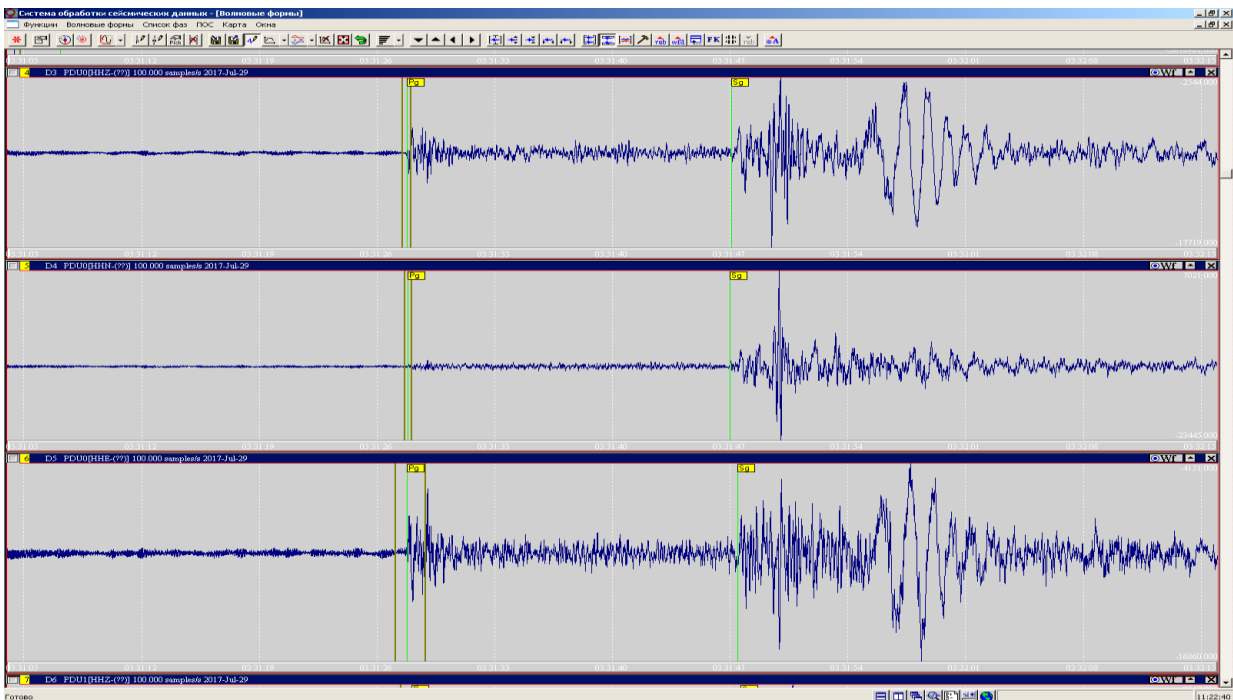


Рис. 4. Три компоненти запису сейсмічної події в Кривому Розі станцією PDU0, розташованою на території Запорізької АЕС.

Типові записи потужних вибухів і локальних природних землетрусів з роботи [11] пока-

зані на рис. 5, 6. Магнітуда цих подій близька до магнітуди дослідженої криворізької події.

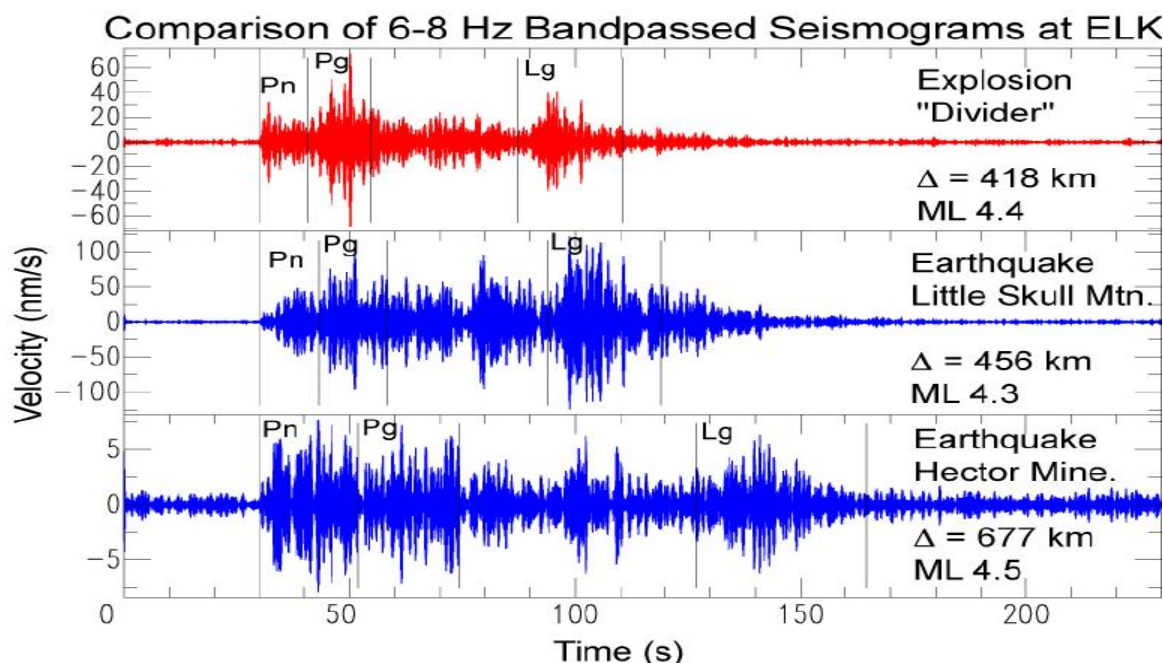


Рис. 5. Записи ядерного вибуху та природних землетрусів з невеликою магнітудою [11].

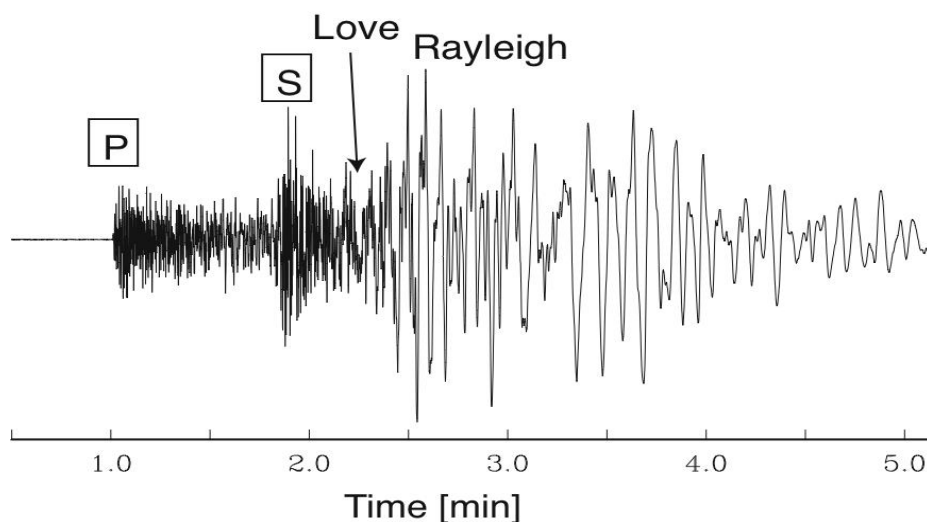


Рис. 6. Типовий розподіл основних фаз сейсмічних хвиль на записах локальних землетрусів.

Результати порівняльного аналізу цих записів свідчать, що в Кривому Розі відбувся природний землетрус, а не потужний промисло-

вий вибух потужністю 10-12 кілотонн. Такий висновок ґрунтується на наступних ознаках:

- 1) наявність двох фаз P_n та P_g на першій час-

тини запису (рис. 4);

2) наявність двох фаз S_n та S_g на другій частині запису (рис. 4) – на записах вибухів (рис. 3) цих фаз немає;

3) наявність двох фаз LQ та LR (рис. 4) після фаз S_n та S_g – на записах вибухів немає LQ, присутня тільки LR (рис. 3);

Таким чином, згідно з ознаками сейсмічної події, наведеними на рис. 1 з публікації [10], на записах криворізького сейсмічного явища спостерігається типовий для землетрусу змінний за величиною розподіл енергії сейсмічних хвиль у різних азимутальних квадрантах, у яких по чергово домінує Р або S хвиля; на записах спостерігається поверхнева хвиля Лява

LQ, нетипова для запису вибухів; відношення значень амплітуди хвилі Р до амплітуди хвилі S є меншим від 1.

Статистична обробка результатів визначення параметрів осередка землетрусу.

Для виявлення максимально точних параметрів землетрусу 29 липня 2017 р. в Кривому Розі була проведена статистична обробка результатів визначення параметрів його осередка з використанням записів події на восьми відносно близьких сейсмічних станціях України та Молдови. В табл. 1 наведена інформація про сейсмічні станції та вказана відстань від них до епіцентру криворізького землетрусу.

Таблиця 1.

Дані про сейсмічні станції та відстань від них до епіцентру криворізького землетрусу

№	Назва	Код	Координати:		Висота, км	Канали	Відстань, км
			широта / довгота, градуси				
1	DNEPR	MI04	48,341712 / 34,983023		62	BNE BHN BHZ	117,3
2	KREMENCHUK	MI06	49,169855 / 33,736128		76	BNE BHN BHZ	127,2
3	POLTAVA	MI02	49,603 / 34,543		129	BNE BHN BHZ	190,8
4	ZAES	PDU0	47,783056 / 31,184006		55	HNE HHN HHZ	172,5
5	ZAES	PDU1	47,876089 / 31,119672		83	HNE HHN HHZ	175,4
6	ZAES	PDU4	47,711636 / 31,149411		40	HNE HHN HHZ	176,5
7	KRIVOY ROG	MIU	47,9296 / 33,331		86.2	BNE BHN BHZ	15,7
8	ROMANIA	MLR	45,4909 / 25,945		1378	BNE BHN BHZ	638,4

Аналогічні визначення проводилась для землетрусу поблизу м. Суми [1]. У цій статті наведений опис коректних методів визначення вступу хвиль різного типу, які використані й у нашій роботі.

На рис. 7 показаний запис криворізького землетрусу, зареєстрований станцією MIU, розташованою безпосередньо на території Кривого Рогу. Графік запису криворізького землетрусу станцією PDU0, розташованою на території Запорізької АЕС, представлений на рис. 4. На обох рисунках показаний час вступу на сейсмічні станції хвиль різного типу. За цими даними розраховувались параметри осередка землетрусу з використанням стандартного програмного продукту для обробки сейсмічних записів WSG [8].

При визначенні параметрів криворізького землетрусу 29 липня 2017 р., разом з географічними координатами (довгота, широта) та

глибини осередку – за даними 8 сейсмічних станцій (табл. 1) визначалась також інтегральна похибка одержаних результатів (рис. 8), яка залежить від вибору часу вступу хвиль і вибраного значення глибини осередку. Позначка вступу змінювались у межах встановленої похибки їх визначення, а значення глибини – з інтервалом 0,2 км в діапазоні від 0 до 5 км.

Перебір різних глибин гіпоцентру землетрусу 29 липня 2017 р. та використання статистичного аналізу похибок визначення положення осередку, дозволило визначити його оптимальну глибину. Аналіз результатів статистичної обробки похибок визначення глибини осередку показав, що їх мінімум перебуває у інтервалі від 3,0 до 3,5 кілометрів. Встановлене таким чином значення глибини землетрусу не збігається з існуючими глибинами розробки родовищ багатих залізний руд.

Природа Криворізького землетрусу 29 липня 2017 року

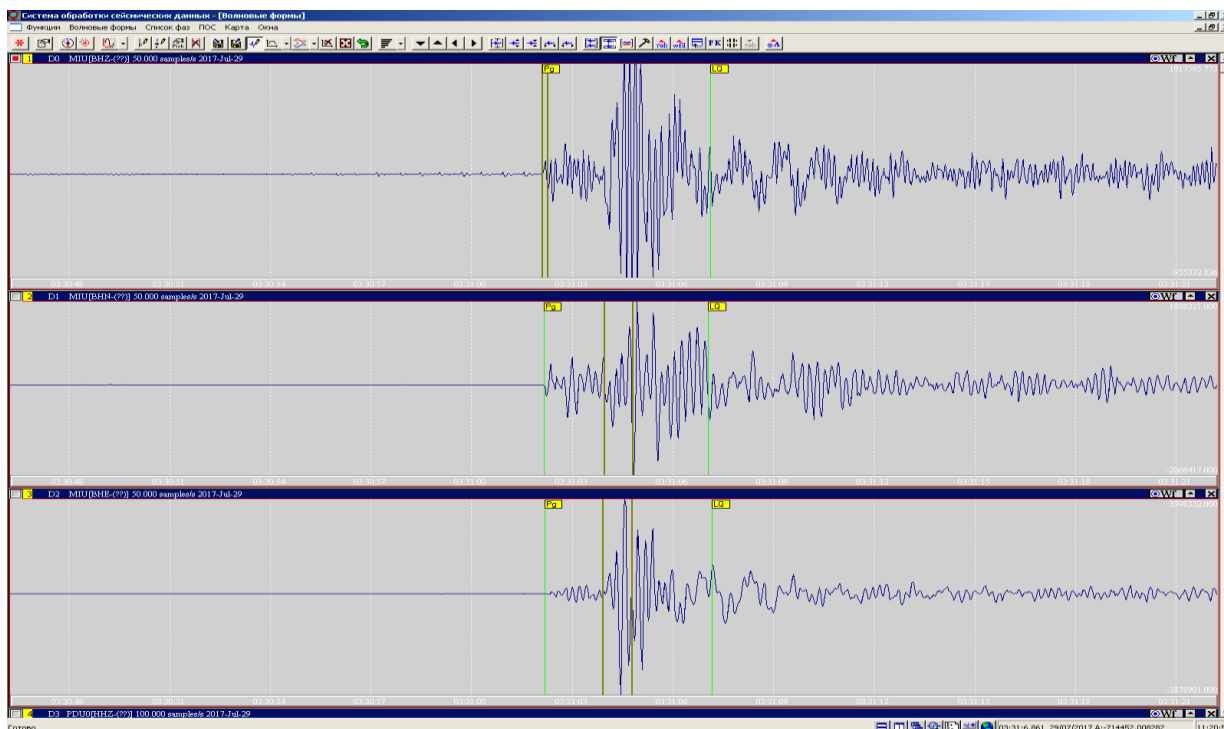


Рис. 7. Трикомпонентний запис криворізького землетрусу 29 липня 2017 р. сейсмічною станцією MIU, розташованою в Кривому Розі.

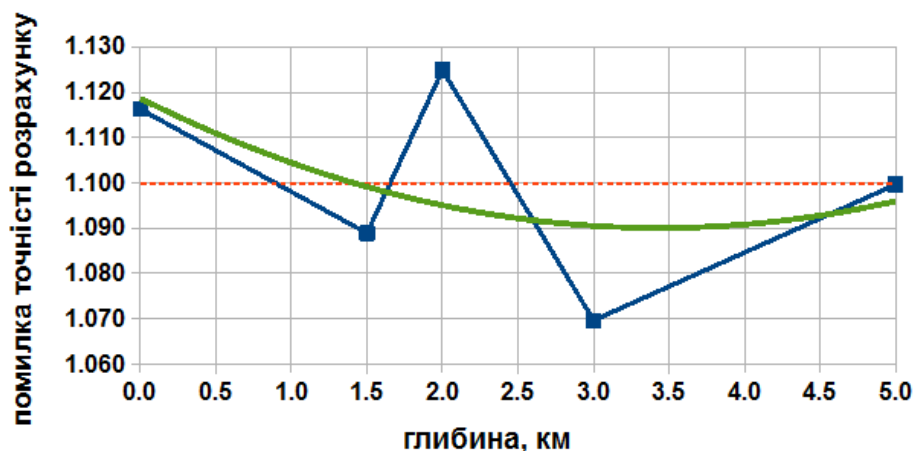


Рис. 8. Графік залежності похибки визначення параметрів криворізького землетрусу 2017 р., розрахованої за даними 8 сейсмічних станцій при різних значеннях глибини гіпоцентру.

На рис. 9 показано положення епіцентрів землетрусу, визначених при різних значеннях часів вступу поздовжніх і поперечних хвиль та

різних значеннях глибини гіпоцентру [7]. Аналіз розташування координат епіцентрів землетрусу при різних значеннях глибин гіпоцент-

рів по відношенню до розривних порушень Криворізької структури [3] демонструє близькість одного з визначених за інструментальними даними положень осередка землетрусу

до Саксаганського розлому (рис. 9, 10), а саме: найближчою до зазначеної тектонічної зони, є точка D при значенні глибини гіпоцентру близько 3 км.



Рис. 9. Карта розташування координат епіцентрів криворізької події, розрахованих за різними значеннями глибини гіпоцентрів (A-E) та їх усереднене значення F, а також точка розташування шахти «Ювілейна» G. Координати епіцентру D найближчі до активної тектонічної структури.

Розміщення координат епіцентру землетрусу в межах Криворізької структури, і близькість його гіпоцентру до зони Саксаганського розлому, який контролює положення родовищ багатих залізних руд, з одного боку, підтверджує коректність розрахунку параметрів землетрусу, а з другого – дозволяє припустити, що ця розломна структура знаходиться в критичному напружено-деформованому стані, основною причиною якого є розробка родовищ багатих руд на великих глибинах та комплекс інших умов, які порушують рівновагу геологічного середовища. Серед таких умов вирішальними є: перерозподіл мас у надрах і на поверхні Землі – розташування на захід від епіцентру землетрусу значного за розміром і

об'ємом накопичених відходів шламосховища Центрального ГЗКу, присутність підземних порожнин у полі шахти «Ювілейна»; зміна гідрогеологічних умов, пов'язаних з шахтним водозниженням і формуванням воронки депресії підземних вод у кристалічних породах, а також із впливом зони підтоплення навколо шламосховища.

Зважаючи на певну неоднозначність положення епіцентру землетрусу при різних значеннях глибини гіпоцентру (рис. 9), в якості додаткової інформації до загального тектонічного положення визначених осередків землетрусу використаємо результати дослідження розрізу Криворізької надглибокої свердловини СГ-8 [6], які характеризують стан геологічного

середовища Криворізького району в цілому. Результати буріння показали наявність у масиві плагіогранітів у інтервалах глибин 3612-3630 м і 3816-3850 м тектонічних зон різноорієнтованих тріщин. Загальна кількість відкритих тріщин тут становить до 40% від загальної кількості тріщин (5-20% у інших зонах). Утво-

рення такого типу пов'язують з неотектонічним переміщенням блоків зі складною взаємодією вертикальних і горизонтальних напружень [6]. Визначена глибина осередку понад 3 км потрапляє до інтервалу розуцільнення плагіогранітів, що свідчить про можливий зв'язок події з напруженим станом цієї зони.

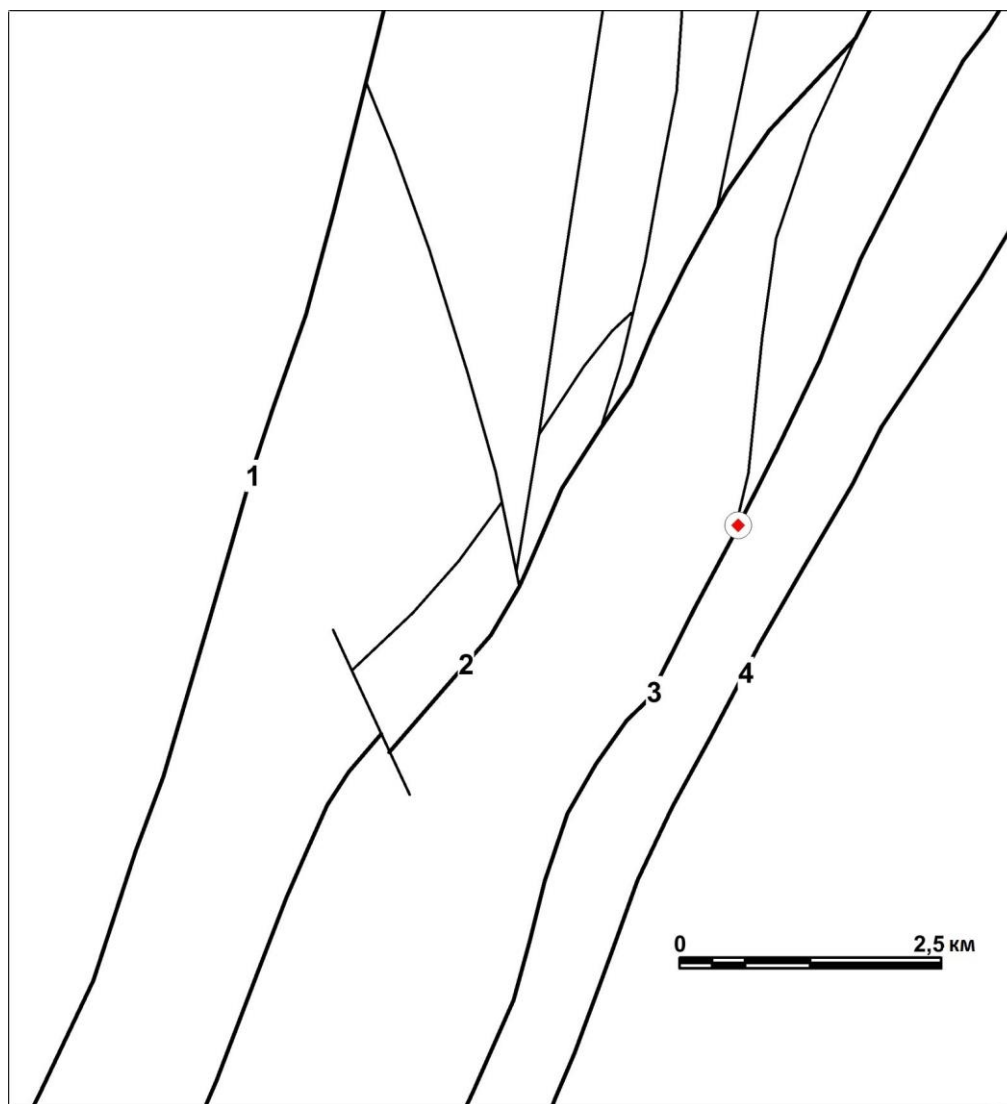


Рис. 10. Фрагмент схематичної тектонічної карти Криворізької структури [3] з показаним положенням епіцентру землетрусу 29 липня 2017 р.

Розломи: 1 – Криворізько-Кременчуцький (Західний); 2 – Тарапаківський; 3 – Саксаганський; 4 – Східний.

Не слід також ігнорувати той факт, що генераторами напруги для потужних локальних

природних землетрусів у межах платформних ділянок можуть бути сучасні геодинамічні

процеси в сейсмоактивному Середземноморсько-Альпійському поясі планети, які впливають на пасивні тектонічні розломи платформної частини території України.

Висновки

1. Аналіз форми записів криворізької сейсмічної події 29 липня 2017 р. показує, що на записах переважної більшості станцій присутні чітко виражені вступи хвиль: P_n , P_g , S_n та S_g . Це свідчить про тектонічний характер землетрусу, який пов'язаний із взаємним переміщенням блоків вздовж розлому, а не з потужним техногенним вибухом, для якого характерна сферична форма діаграми випромінення сейсмічних коливань у Р-хвилі (рис. 1).

2. Магнітуда дослідженого землетрусу становить 4,3. Його фіксація румунською станцією MLR, розташованою на значній епіцентральної відстані, також підтверджує, що це був не вибух. Для реєстрації вибухів на таких відстанях необхідно, щоб маса вибухівки була понад 10-20 кілотонн, що відповідає малому ядерному вибуху.

3. Енергетична інтенсивність землетрусу $m_b=4,3$ не суперечить значенням потенційно максимальних магнітуд ($m_b=5-5,5$) землетрусів для території Східно-Європейської платформи, визначених за даними про деформації вигину земної кори, інтенсивності сучасних тектонічних деформацій, теплового потоку, глибини залягання докембрійського фундаменту та межі Мохо [2].

4. Статистично оцінене значення глибини епіцентру сейсмічної події становить 3,0-3,5 км, що перевищує глибину шахти, в якій міг би проводитись промисловий вибух.

5. Криворізький землетрус пов'язаний з активізацією одного з розломів (рис. 10) у межах переважно асейсмічної Криворізької залізорудної структури, що могло бути спричинене активізацією зони Вранча.

6. Розташування епіцентру сейсмічної події в зоні активного функціонування шахти «Овілейна» викликане збігом її положення з активізацією тектонічного порушення в масиві Криворізької залізорудної структури (рис. 10) [3].

7. Сейсмічна активізація тектонічного по-

рушення в межах Криворізької залізорудної структури може бути спричинена комплексом умов, які створені в процесі техногенезу та пов'язані зі зростанням напруженого стану постійно активної румунської тектонічної зони Вранча. Не виключено, що землетрус спричинила розрядка напруги, яка накопичилась у активних неотектонічних зонах між блоками докембрійського фундаменту.

8. В цілому сейсмічна активність Криворізького регіону не суперечить потенційній сейсмічній активності древніх платформ, зони якої приурочені до різко виступаючих кутів платформ, крайових прогинів, шовних зон та околиць щитів [9].

9. Для мінімізації небезпечних наслідків сильних природних землетрусів, які в майбутньому за таких умов можуть реалізуватись у районі Кривого Рогу, необхідно створити локальну мережу автоматизованих пунктів сейсмічних спостережень. Її метою буде моніторинг з використанням телеметричних методів зміни напружено деформованого стану геологічного середовища, яка супроводжується слабкими потрескуваннями, трасуючими активізовані тектонічні структури [4]. Аналіз результатів моніторингу дозволить уточнити природу сейсмічного явища, нетипового за інтервалом часу реалізації та енергією (магнітудою) для території України.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Габсатарова И.П., Бабкова Е.А., Надежка Л.И., Пивоваров С.П., Семенов А.Е., Кендзера А.В., Пигулевский П.И., Шербина С.В. Землетрясение 3 февраля 2015 г. на границе Полтавской и Сумской областей Украины по макросейсмическим и инструментальным данным // Вестник Воронежского государственного университета. Геология. – 2016. – № 1. – С. 115-123.*
2. *Грачев А.Ф., Магницкий В.А., Мухамедиев Ш.А., Юнга С.Л. К определению максимально возможных магнитуд землетрясений на Восточно-Европейской платформе // Физика Земли. – 1996. – №7. – С. 3-20.*

3. **Захаров В.В., Мартинюк А.В., Токар Ю.Н.** Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200 000. Аркуші: М-36-XXXIV (Жовті Води), L-36-IV (Кривий Ріг). Пояснювальна записка // Київ, Геоінформ, 2002.– 101 с.

4. **Здешиц В.В., Калініченко О.А., Пігулевський П.Г., Рибалко Б.І., Щербіна С.В.** Дослідження мікросейсмічних явищ техногенного походження // *Геофізичний журнал*.– 2015.– Т. 37, №5.– С. 132-142.

5. Карта вибухів, зафіксованих станцією KIEV. [Електронний ресурс]; Режим доступу: <http://seismo.kiev.ua/GoogleMap/ExplOn2011>.

6. **Курлов Н.С., Шеремет 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., Анциферов В.А., Глухов А.А., Байсарович М.Н., Бородулин М.А., Бутирин В.К., Глаголев А.А., Катериненко В.М., Захаров В.В., Івін В.Н., Казанский В.И., Калинин В.И., Коваленко-Завойский В.Н., Лебедев Т.С., Мечников Ю.П., Николаев И.Ю., Продайвода Г.Т., Рогов А.М., Станько Я.П., Сетая Л.Д., Сулова С.Н., Фоций Н.В.** Криворожская сверхглубокая скважина СГ-8 // *Донецк: Ноулідж*, 2011.– 556 с.

7. Мапа осереднених значень параметрів епіцентру події в Кривому Розі. [Електронний ресурс]; режим доступу до сайту: <http://seismo.kiev.ua/GoogleMap/KrivoRig/KrivoRig201707290331/>

8. Програма обробки сейсмічних записів WSG. [Електронний ресурс]; режим доступу: http://www.ceme.gsras.ru/new/wsg_arm.htm.

9. **Хаун В.Е.** Тектоника континентів и океанів (2000 год). Москва: Научный мир, 2001.– 606 с.

10. **Walter W.R., Matzel E., Pasyanos M.E., Harris D.B., Gok R., Ford S.R.** Empirical observations of earthquake-explosion discrimination using p/s ratios and implications for the sources of explosion s-waves // 29th Monitoring research review. Ground-based nuclear explosion monitoring technologies.– P. 684-693.

11. **Walter W.R., Pasyanos M.E., Rodgers A.J., Mayeda K.M., Sichertman A.** Regional body-wave corrections and surface-wave tomography models to improve discrimination // 25th Seismic research review. Nuclear explosion monitoring: Building the knowledge base.– P. 495-504.

REFERENCES

1. **Gabsatarova I.P., Babkova E.A., Nadezhka L.I., Pivovarov S.P., Semenov A.E., Kendzera A.V., Pigulevskiy P.I., Shcherbina S.V.** Earthquake of February 3, 2015 at the border of the Poltava and Sumy regions of Ukraine by macroseismic and instrumental data // *Voroneg State university bulletin. Geology*.– 2016.– No. 1.– P. 115-123.

2. **Grachev A.F., Magnitskiy V.A., Mukhamediyev Sh.A., Younga S.L.** Concerning determining the maximum of possible magnitude of earthquakes at East-European platform // *Physics of the Earth*.– 1996.– No 7.– P. 3-20.

3. **Zakharov V.V., Martynyuk A.V., Tokar Yu.N.** State geological map of Ukraine. Scale 1:200 000. Sheets: M-36-XXXIV (Zhovti Vody), L-36-IV (Kryvyi Rig), Explanatory note // *Kyiv, Geoinform*, 2002.– 101 p.

4. **Zdeshchits V.V., Kalinichenko O.A., Pigulevskiy P.G., Rybalko B.I., Shcherbina S.V.** Investigating microseismic phenomena of technogenic origin // *Geophysical journal (Kyiv)*.– 2015.– V. 37, No 5.– P. 132-142.

5. Map of explosions recorded by KIEV station. [Electronic resource]; Site access mode: <http://seismo.kiev.ua/GoogleMap/ExplOn2011>.

6. **Kurlov N.S., Sheremet E.M., Kozar N.A., Gurskiy D.S., Geychenko M.V., Shcherbak N.P., Starostenko V.I., Zaritskiy A.I., Belevtsev R.Ya., Antsiferov A.V., Glevasskiy E.B., Kulik S.N., Burakhovich T.K., Pigulevskiy P.I., Agarkova N.G., Antsiferov V.A., Glukhov A.A., Baysarovich M.N., Brodulin M.A., Butyrin V.K., Glagolev A.A., Ekaterinenko V.M., Zakharov V.V., Ivin V.N., Kazanskiy V.I., Kalinin V.I., Kovalenko-Zavoyskiy V.N., Lebedev T.S., Mechnikov Yu.P., Nikolayev I.Yu., Prodayvoda G.T., Rogov A.M., Stanko Ya.P., Setaya L.D., Suslova S.N., Foshchiy N.V.** Kryvyi

Rih super-deep borehole SG-8 // Donetsk: Knowledge, 2011.– 556 p.

7. Map of the averaged values of the parameters of the epicenter of the event in Kryvyi Rig. [Electronic resource]; Site access mode: <http://seismo.kiev.ua/GoogleMap/KrivoRig/KrivoRig201707290331/>

8. WSG seismic record processing program. [Electronic resource]; Mode of access to the site: http://www.ceme.gsras.ru/new/wsg_arm.htm.

9. **Khain V.E.** Tectonics of the continents and oceans // Moscow: Scientific World, 2001.– 606 p.

10. **Walter W.R., Matzel E., Pasyanos M.E., Harris D.B., Gok R., Ford S.R.** Empirical

observations of earthquake-explosion discrimination using p/s ratios and implications for the sources of explosion s-waves // 29th Monitoring research review: Ground-based nuclear explosion monitoring technologies.– P. 684-693.

11. **Walter W.R., Pasyanos M.E., Rodgers A.J., Mayeda K.M., Sicherman A.** Regional body-wave corrections and surface-wave tomography models to improve discrimination. // 25th Seismic research review-Nuclear explosion monitoring: Building the knowledge base.– P. 495-504.

ПІГУЛЕВСЬКИЙ П.Г., КЕНДЗЕРА О.В., ЩЕРБІНА С.В., ВЕРБИЦЬКИЙ С.Т., ШУМЛЯНСЬКА Л.О., КАЛИНИЧЕНКО О.О., ГУРОВА І.Ю., ІЛЬЄНКО В.А., АМАШУКЕЛІ Т.А., ЧАЛИЙ О.О. Природа криворізького землетрусу 29 липня 2017 року.

Резюме. Сейсмічна активізація гірничодобувних регіонів, у тому числі Криворізького, де видобуток залізних руд триває понад 130 років, вимагає ретельного дослідження для розуміння природи сейсмічних явищ, які зазнають потужного впливу техногенезу.

Природа криворізького землетрусу 29 липня 2017 року була вивчена методом порівняльного аналізу записів вибухів і природних землетрусів на сейсмограмах. На переважній більшості сейсмограм, записаних різними сейсмічними станціями, присутні чітко виражені вступу хвиль P_n , P_g , S_n та S_g , що свідчить про тектонічний характер криворізького землетрусу. Він був викликаний взаємним переміщенням тектонічних блоків вздовж розривного порушення, а не потужним техногенним вибухом, для якого характерна сферична форма діаграми випромінення сейсмічних коливань P -хвиль.

За результатами статистичної обробки параметрів землетрусу, отримані максимально коректні дані, що дозволило встановити положення осередка землетрусу в межах конкретної розривної структури – Саксаганського розлому – або (на великій глибині) – в межах неотектонічної ослабленої зони в масиві гранітів, обрамляючому залізородну товщу.

Зроблені припущення про техногенні й природні причини сейсмічної активізації розлому. Причини техногенного характеру пов'язані з розробкою покладів багатих залізних руд на великій (близько 1500 м) глибині та комплексом інших факторів, які викликають порушення рівноваги геологічного середовища, перерозподіл мас у надрах і на поверхні Землі. Причини природного характеру пов'язані зі зростанням напруженого стану постійно активної тектонічної зони Вранча (Румунія), яка може бути генератором напруги як для древніх, так і для активних неотектонічних розломів у межах різних ділянок Східно-Європейської платформи.

Хоча в цілому сейсмічна активність Криворізького регіону аналогічна потенційній сейсмічній активності древніх платформ, за інтервалом часу реалізації та енергією (магнітудою) землетрусів вона є аномальною. Це свідчить про підвищену сейсмічну небезпеку в регіоні, враховуючи значні техногенні зміни геологічного середовища, які можуть різною мірою посилювати негативні наслідки сейсмічних явищ.

Для попередження негативних наслідків аномальної сейсмічної активності в районі Кривого Рогу з метою ефективного сейсмічного моніторингу пропонується створити в місті локальну

мережу автоматизованих пунктів сейсмічних спостережень, яка дозволить телеметричними методами своєчасно виявляти напружено-деформований стан геологічного середовища.

Ключові слова: Криворізький басейн, напружений стан гірничих масивів, землетруси, природа землетрусів, параметри осередків землетрусів, сейсмічний моніторинг.

ПИГУЛЕВСКИЙ П.И., КЕНДЗЕРА А.В., ЩЕРБИНА С.В., ВЕРБИЦКИЙ С.Т., ШУМЛЯНСКАЯ Л.А., КАЛИНИЧЕНКО О.А., ГУРОВА И.Ю., ИЛЬЕНКО В.А., АМАШУКЕЛИ Т.А., ЧАЛЫЙ О.О. Природа криворожского землетрясения 29 июля 2017 года.

Резюме. Сейсмическая активизация горнодобывающих регионов, в том числе Криворожского, где добыча железных руд продолжается более 130 лет, требует тщательного исследования для понимания природы сейсмических явлений, которые подвергаются мощному влиянию техногенеза.

Природа криворожского землетрясения 29 июля 2017 года была изучена методом сравнительного анализа записей взрывов и природных землетрясений на сейсмограммах. На подавляющем большинстве сейсмограмм, записанных разными сейсмическими станциями, присутствуют четко выраженные вступления волн P_n , P_g , S_n и S_g , что свидетельствует о тектоническом характере криворожского землетрясения. Оно было вызвано взаимным перемещением тектонических блоков вдоль разрывного нарушения, а не мощным техногенным взрывом, для которого характерна сферическая форма диаграммы излучения сейсмических колебаний P -волны.

По результатам статистической обработки параметров землетрясения, получены максимально корректные данные, что позволило установить положение очага землетрясения в пределах конкретной разрывной структуры – Сакаганского разлома – или (на большой глубине) – в границах неотектонической ослабленной зоны в массиве гранитов, обрамляющем железорудную толщу.

Сделаны предположения о техногенных и природных причинах сейсмической активизации разлома. Причины техногенного характера связаны с разработкой залежей богатых железных руд на большой (около 1500 м) глубине и комплексом других факторов, которые вызывают нарушение равновесия геологической среды, перераспределение масс в недрах и на поверхности Земли. Причины природного характера связаны с возрастанием напряженного состояния постоянно активной тектонической зоны Вранча (Румыния), которая может быть генератором напряжения как для древних, так и для активных неотектонических разломов в пределах разных участков Восточно-Европейской платформы.

Хотя в целом сейсмическая активность Криворожского региона аналогична потенциальной сейсмической активности древних платформ, по интервалу времени реализации и энергии (магнитуде) землетрясений она является аномальной. Это свидетельствует о повышенной сейсмической опасности в регионе, учитывая значительные техногенные изменения геологической среды, которые могут в разной степени усиливать негативные последствия сейсмических явлений.

Для предупреждения негативных последствий аномальной сейсмической активности в районе Кривого Рога с целью эффективного сейсмического мониторинга предлагается создать в городе локальную сеть автоматизированных пунктов сейсмических наблюдений, которая позволит телеметрическими методами своевременно выявлять напряженно-деформированное состояние геологической среды.

Ключевые слова: Криворожский бассейн, напряженное состояние горных массивов, землетрясения, природа землетрясений, параметры очагов землетрясений, сейсмический мониторинг.

PIGULEVSKYI P.H., KENDZERA O.V., SHCHERBINA S.V., VERBYTSKYI S.I., SHUMLYANSKA L.O., KALINICHENKO O.O., GUROVA I.Yu., IL'YENKO V.A., AMASHUKELI T.A., CHALYI O.O. Nature of Kryvyi Rih earthquake of July 29, 2017.

Summary. Seismic activation of mining regions, including Kryvyi Rih one, where iron ore mining has been carried out for more than 130 years, requires careful investigation in order to understand the nature of seismic phenomena that are subject to the powerful influence of technogenesis.

The nature of Kryvyi Rih earthquake of July 29, 2017 was studied by the method of comparative analysis of explosions and natural earthquakes records in seismograms. There are discernable occurrences of P_n , P_g , S_n and S_g waves in the overwhelming majority of seismograms recorded by different seismic stations, which indicates the tectonic character of the Kryvyi Rih earthquake. It was caused by the mutual movement of tectonic blocks along the faulting, and not by a powerful technogenic explosion, which is usually characterized by generation of spherical shape of P-wave seismic fluctuations in diagrams.

The most correct data were obtained based on the results of statistical processing of the earthquake parameters, which allowed determining the location of the earthquake focus within a specific ruptured structure, that is the Saksagan fault, or (at great depths) within the boundaries of the neotectonic weakened zone in the granite massif surrounding the iron ore stratum.

Assumptions about the man-made and natural causes of seismic activation of the fault were made. The causes of technogenic nature are associated with high-grade iron ores deposits exploitation at great (about 1500 m) depths and a complex of other factors that cause a disturbance in the balance of the geological environment, redistribution of masses in the interior and on the surface of the Earth. Natural causes are associated with an increase in the stress state of the constantly active tectonic zone Vrancea (Romania), which can be a strain generator for both ancient and active neotectonic faults within different sections of the East European platform.

Although in general the seismic activity of Kryvyi Rih region is analogous to the potential seismic activity of ancient platforms, it is anomalous in terms of the time interval of realization and the energy (magnitude) of earthquakes. This reveals an increased seismic hazard in the region, given the significant technogenic changes in the geological environment, which can aggravate the negative consequences of seismic events to varying degrees.

In order to prevent negative consequences of abnormal seismic activity in Kryvyi Rih area, it is proposed to create a local network of automated seismic observation points in the city, which will allow telemetry methods to detect the stressed-deformed state of the geological environment in a timely manner.

Key words: Kryvyi Rih basin, stressed state of rock massifs, earthquakes, nature of earthquakes, parameters of earthquake foci, seismic monitoring.

Надійшла до редакції 10 лютого 2017 р.
Представив до публікації професор В.Д.Свєтхов.