

О. Е. Смірнов¹, М. С. Мунтян¹, А. О. Губанова^{2,1}, С. І. Дмитрук^{2,2}, С. В. Оптасюк^{2,3}

¹Регіональний центр спеціального контролю

²Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка

e-mail: ^{2,2}sidmitruk73@ukr.net; ORCID: ^{2,1}0000-0002-2040-8340, ^{2,3}0000-0003-1784-7155

ЗБІЛЬШЕННЯ ОБ'ЄМНОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ РАДОНУ В ЦЕНТРИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПЕРЕД СЕЙСМІЧНИМИ ПОДІЯМИ В КАРПАТСЬКОМУ РЕГІОНІ

У статті проаналізовані дані спостережень змін концентрації радону на поверхні Землі, показаний вплив наступаючого землетрусу на її зміни. Проілюстровано, що зміни концентрації радону не завжди пов'язані зі зміною атмосферного тиску. Передбачення таких явищ природи як землетруси неодмінно викликає інтерес дослідників та науковців. На території України землетруси спостерігаються різної інтенсивності, отже є потреба у контролі сейсмогенних областей не тільки постфактум, але й у можливості відслідковувати події, які тільки наближаються, та оцінювати їх енергію. Проаналізовані дані наявності землетрусів у липні 2020 року. Відмічено, що причиною землетрусів є виникнення розломів та зсувів тектонічних плит та утворення тріщин у складових літосфери Землі.

Ключові слова: землетрус, радон, магнітуда, радіометр, розломи, тріщини.

Для фахівців фізиків розділ «фізика Землі» є одним з важливих питань, що викликають інтерес до пізнання процесів, які відбуваються всередині Землі: питання структури Землі; які основні складові частини; чим відрізняються континенти; чи існує зв'язок між континентами. Наша планета має три складові частини: літосферу (тверду оболонку), гідросферу і атмосферу [1, с.32]. Найкраще вивчена атмосфера, для чого використовуються результати досліджень, які проводяться як на поверхні Землі, так і при використанні висотних літаків, куль-зондів та космічних апаратів.

Відомості про внутрішню будову Землі отримують, як правило, при вивченні особливостей поширення сейсмічних хвиль. Земна куля вкрита сіткою приймачів сейсмічних хвиль – це чутливі електромагнітні пристрої, які реєструють поширення хвиль у трьох напрямках: схід-захід; північ-південь; зеніт-надир.

Землетрус – це явище, яке не відбувається миттєво без попередньої підготовки. Тектонічні структури нашої планети перебувають в постійному русі та деформації. В результаті таких деформацій, за певний час до землетрусу, може спостерігатися явище радонових аномалій через його вивільнення з закритих, до цього часу, розломів.

Під час тектонічної діяльності в тілі мантиї і поверхневому шарі Землі підвищується пористість гірських порід, утворюються системи різноспрямованих тріщин, порожнин. Такі тектонічні зони набувають хороших колекторських властивостей, у них відбувається накопичення радону. Як результат – велика частина тектонічних порушень перетворюються на радонопереносні підвідні структури безпосередньо в поверхневий шар ґрунту. Радонові аномалії можуть з'являтися в зонах активізації глибинних розломів тектонічних структур [2-4].

Ряд експериментів зв'язаних з дослідженням поведінки виділення радону перед сейсмічними подіями. Одні з відомих є експерименти проведені на Північно-уральському бокситовому руднику (Росія) [4-6] і експерименти Геологічної служби США в Центральній Каліфорнії [2]. Було виявлене явище просторової зональності виділення радону залежно від відстані до майбутнього епіцентру сейсмічної події. В обох випадках просторові зміни динаміки виділення радону носять явно виражений нелінійний характер.

При відсутності сейсмічних подій об'ємна концентрація радону змінюється у відповідності до змін атмосферного тиску, вологості повітря, часу доби [2].

Радон – радіоактивний інертний газ без кольору і запаху, що в 7,5 раз важчий за атмосферне повітря. Він виділяється з ґрунту на поверхню та має властивість накопичуватися в природних і штучних заглибинах.

Поведінка радону, тобто його виділення з ґрунту при нормальних умовах, є досить передбачувана, виділення радону з поверхні ґрунту також визначається макроскопічним коефіцієнтом дифузії, який залежить від багатьох чинників, з яких найважливіші пористість, тріщинуватість і проникність. Крім того радон не викликає проблем з його реєстрацією, оскільки він радіоактивний. В результаті вертикальної міграції радону відбувається його вихід в атмосферу. Швидкість надходження радону з ґрунтів в атмосферу залежить від фізичних властивостей ґрунтів, години доби, сезонних коливань температури тиску та вологості. Всі ці чинники формують простежувану гармонічну криву коливань концентрації радону, яка повторюється щодоби. Проте радон веде себе зовсім не так стабільно, як це може здатися на перший погляд. Різкі зміни атмосферного тиску провокують такі ж стрибки в кількостях виділення радону. Ці зміни цілком простежувані і є нормальними. Але час від часу радоновимірвальними приладами фіксуються явища аномальних викидів, які відбуваються незалежно ні від добових коливань, ні від атмосферного тиску.

Здійснення постійного моніторингу об'ємної активності радону дозволяє швидко виділяти факт аномальних явищ і робити короточасний прогноз сейсмічних подій в зоні спостережуваних тектонічних структур на обмежених відстанях [7].

В статті аналізуються спостереження проведені з використанням датчика, розташованого безпосередньо на території Регіонального центру спеціального контролю (РЦСК) неподалеку м. Кам'янець-Подільського. При установці радіометра передбачалося, що на концентрацію радону в даному пункті матиме вплив сейсмічність вказаного регіону, тобто на відстані до 1000 км від РЦСК.

Розглядаються сейсмічні події, що відбулися з 24.05.20 по 04.06.20 та використовуються дані бюлетеня сейсмічних подій Головного центру спеціального контролю (ГЦСК) за липень з 04.07.20 по 30.07.20.

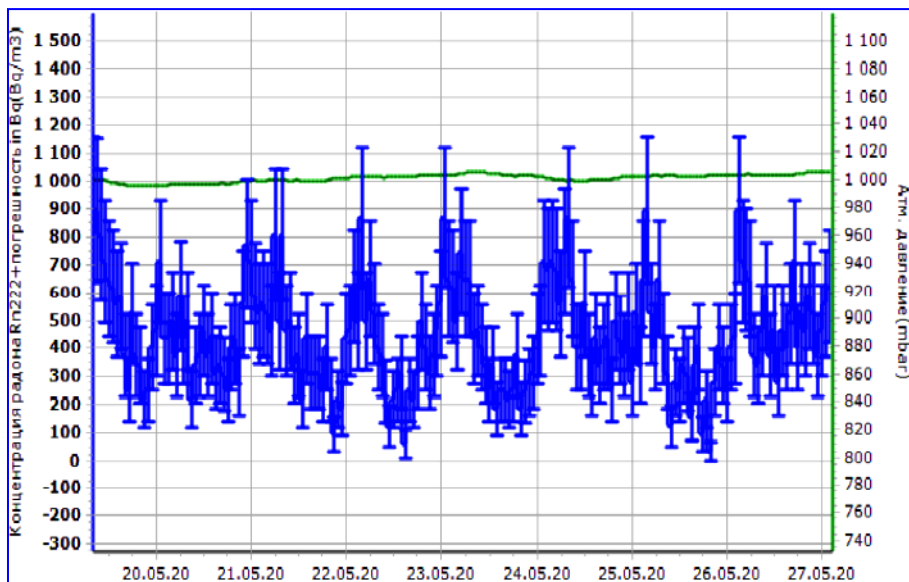


Рис. 1. Добові коливання концентрації радону в повітрі та значення атмосферного тиску (плавна крива описує зміну тиску, стрибкоподібна – радону)

В статті проаналізовано залежність між зміною атмосферного тиску та зміною концентрації радону. На рис. 1 зображено типові добові коливання концентрації радону. Зліва відображена шкала концентрації радону Rn-222 в Бк/м³ (Bq/m³) справа – атмосферний тиск в мбар. (mbar). Характер добових коливань, зображений на рис. 1, спостерігається при відсутності високоенергетичних сейсмічних явищ у ближній зоні.

З рис. 1 робимо висновок, що підвищення атмосферного тиску веде до збільшення об'ємної концентрації радону біля поверхні Землі. Збільшення концентрації радону не залежать від збільшення атмосферного тиску, що дозволяє припустити можливість його надходження з надр Землі при відсутності сейсмічних подій у регіоні.

На території України землетруси спостерігаються різної інтенсивності, отже є потреба у контролі сейсмогенних областей не тільки постфактум, але й можливості передбачення події, які тільки наближаються, та оцінювання їх енергії.

Окремо проаналізована залежність об'ємної концентрації радону перед двома зареєстрованими Регіональним центром спеціального контролю (РЦСК) землетрусами, що відбулися 01.06.2020 о 07:23 та 21:05 за Київським часом на території України. Епіцентри землетрусів знаходилися в Івано-Франківській області на глибині 2 км. з рознесенням 1 км. Відстань між РЦСК і епіцентрами землетрусів становить 190 км. Магнітуда складає відповідно 3,2 і 2,7 за шкалою Ріхтера. Моменти даних землетрусів відображені на рис. 2 і 3 вертикальними лініями.

Рис. 2 демонструє порушення добових коливань концентрації радону та збільшення її, незважаючи на різке зменшення атмосферного тиску. Це відбулося за добу до зазначених землетрусів (о 4:00 за Київським часом 31.05.2020).

Докладніше цю аномалію відображено на рис. 3, де можна спостерігати погодинну зміну атмосферного тиску та об'ємну концентрацію Радону-222.

Таким чином дані, приведені на рисунках 2 і 3 показують аномальну залежність (збільшення) концентрації радону, незважаючи на зменшення тиску. Таке явище спостерігається більше як за добу до настання землетрусу.

Отже, можна стверджувати що є передвісник землетрусу. За час між першим і другим землетрусом ще не встигає відтворитися «нормальна» залежність між коливаннями тиску та концентрації радону.

В таблиці 1 подані відомості про сейсмічні події, які зареєстровані в Головного центру спеціально-

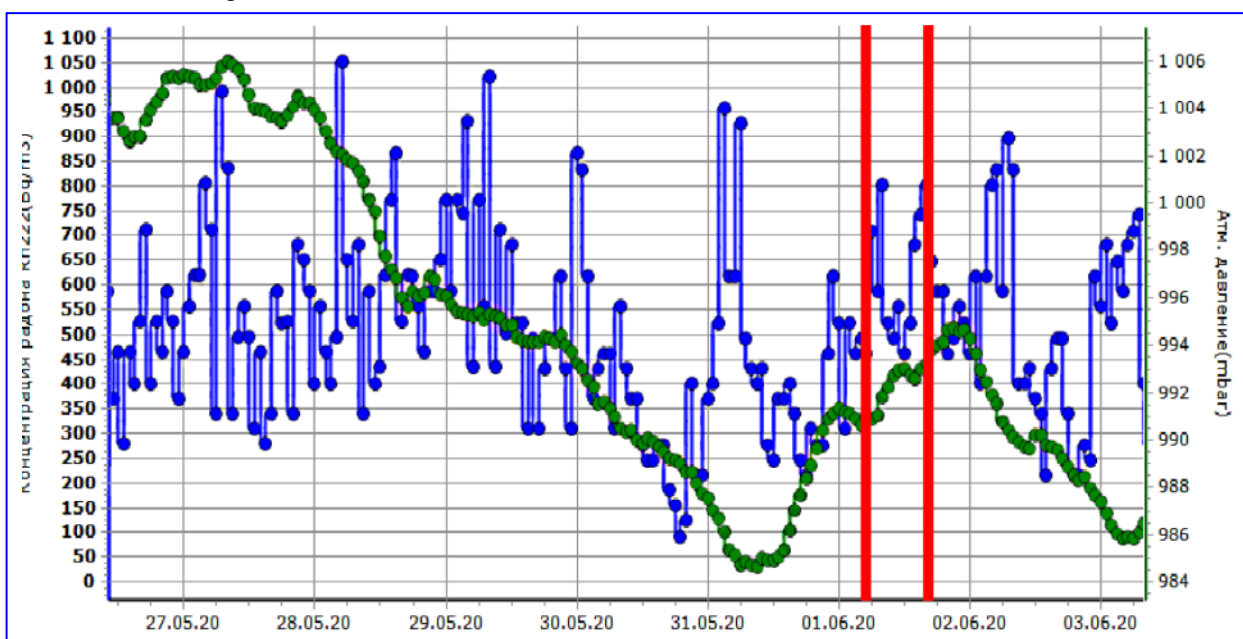


Рис. 2. Зміна добових коливань концентрацій радону в повітрі та значення атмосферного тиску напередодні землетрусів (вертикальними лініями вказані моменти землетрусів)

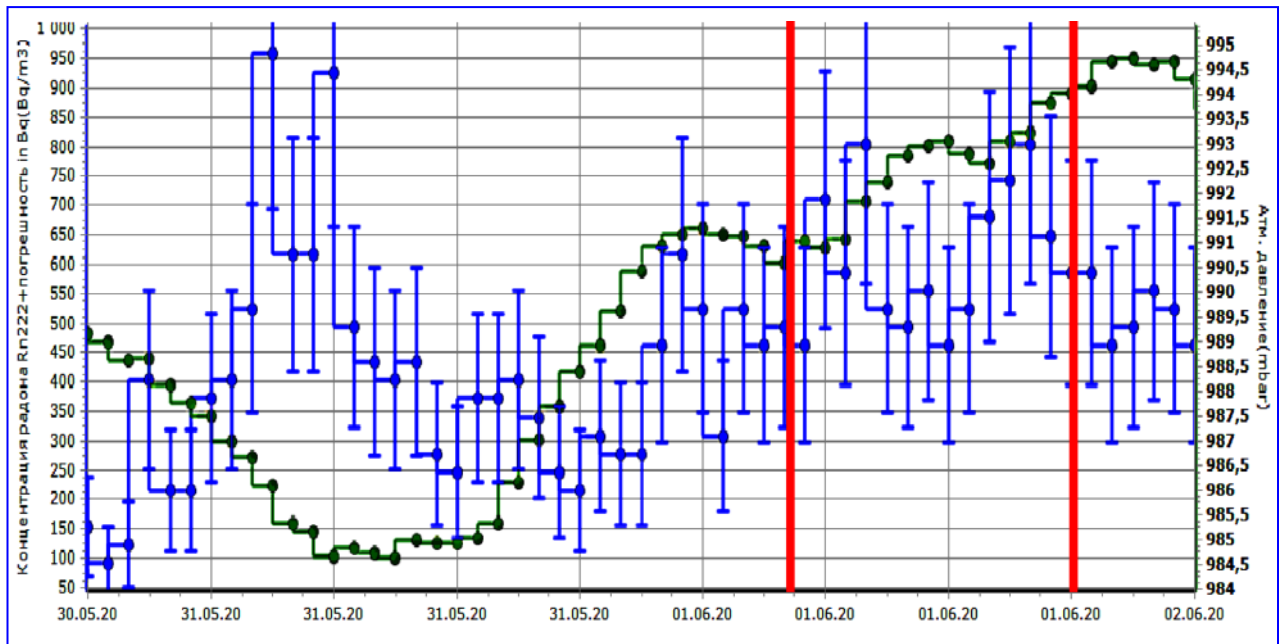


Рис. 3. Погодинна зміна концентрацій радону в повітрі та атмосферного тиску напередодні землетрусів (вертикальними лініями лініями вказані моменти землетрусів)

Таблиця 1.

Збірні дані про сейсмічні події взяті з бюлетеня ГЦСК

№	Дата	Час	Координати	Глибина, км	Магнітуда	Інтенсивність	Відстань, км	Регіон
1.	04.07.20	13:00:21	+51,60; +15,99	10	3.2	1.2	794	Польща
2.	07.07.20	9:45:09	+43,18; +17,81	12	4.1	3.0	856	Боснія і Герцеговина
3.	08.07.20	5:19:00	+51,49; +16,35	10	4.9	5.2	790	Польща
4.	12.07.20	20:31:39	+45,69; +26,62	137	2.9	1.0	271	Румунія
5.	15.07.20	6:32:31	+40,50; +20,80	11	4.1	3.2	949	Албанія
6.	17.07.20	4:24:40	+51,48; +16,16	6	3.7	3.5	809	Польща
7.	18.07.20	3:48:59	+51,63; +16,13	4	3.3	2.8	823	Польща
8.	18.07.20	5:35:23	+43,19; +20,16	5	3.3	2.4	753	Сербія
9.	22.07.20	1:46:34	+51,53; +16,11	3	3.6	3.9	818	Польща
10.	24.07.20	2:19:15	+39,88; +30,40	8	3.9	3.5	959	Західна Туреччина
11.	24.07.20	20:41:25	+40,27; +25,02	8	4.7	5.0	908	Егейське море
12.	26.07.20	14:14:32	+45,17; +25,32	20	3.0	2.9	371	Румунія
13.	26.07.20	14:16:02	+41,00; +19,70	10	4.0	3.1	975	Албанія
14.	26.07.20	23:26:44	+52,65; +27,57	2	2.1	1.2	513	Білорусь
15.	27.07.20	10:45:04	+48,72; +24,48	11	2.5	1.0	141	Івано-Фр. обл, Україна
16.	30.07.20	15:36:33	+51,50; +16,22	8	4.2	3.9	804	Польща

го контролю (ГЦСК) за липень з 04.07.20 по 30.07.20. Вказані дати, час, географічні координати, глибина, магнітуда, відстань та регіон. Співставляючи дані таблиці 1 та результати спостережень, проведених в РЦСК обрані ті сейсмічні події, для яких є відмінності у «поведінці» змін концентрації радону, в порівнянні з добовими змінами.

Як видно з даних табл. 1, аномальні викиди радону існують попереду землетрусів з номерами 1, 4, 12 та 16. На рис. 4-7 такі сейсмічні події виділені вертикальними лініями.

Аномальні залежності концентрацій радону виявлені для землетрусів, що знаходяться в таблиці 1 за номерами 1, 4, 12, 16. З них: 1 – на відстані 794 км. від пункту спостереження (у Польщі); 4 – на відстані 271 км. від пункту спостереження (у Румунії); 12 – на відстані 371 км. від пункту спостереження (у Румунії); 16 – на відстані 804 км. від пункту спостереження (у Польщі).

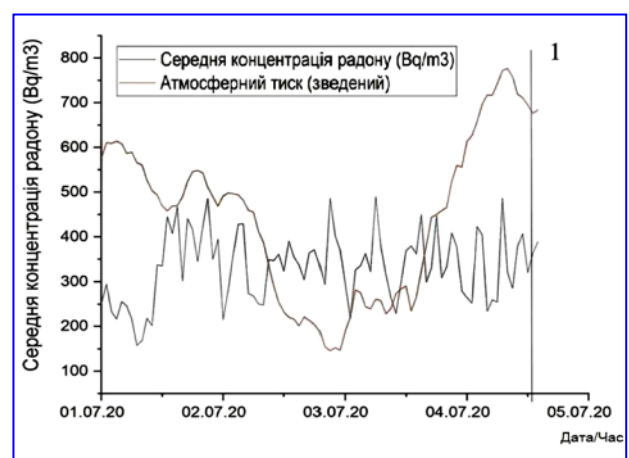


Рис. 4. Зміни концентрацій радону та атмосферного тиску

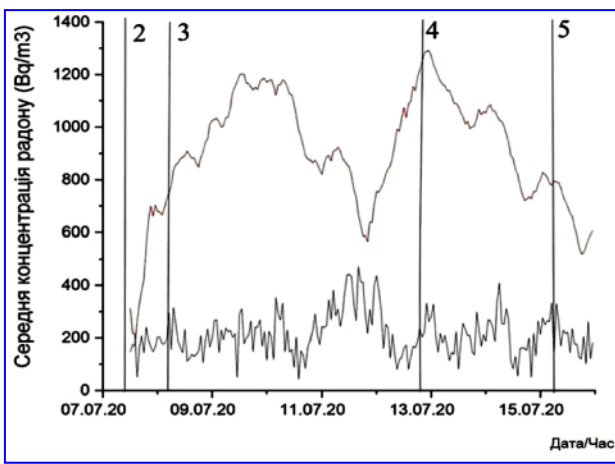


Рис. 5. Зміни концентрацій радону та атмосферного тиску

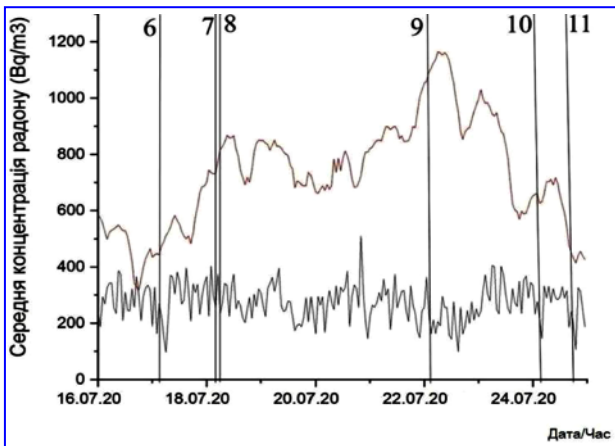


Рис. 6. Зміни концентрацій радону та атмосферного тиску

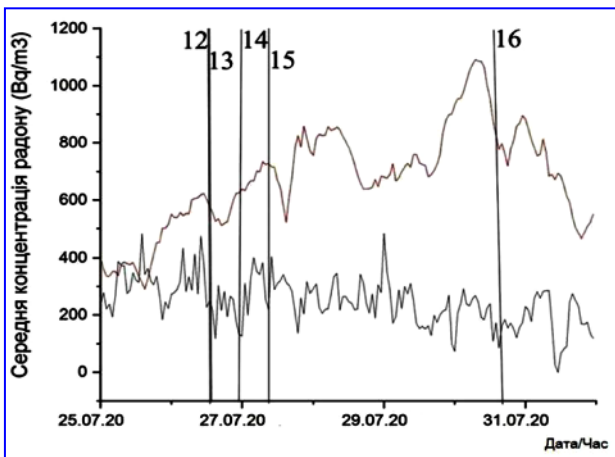


Рис. 7. Зміни концентрацій радону та атмосферного тиску

Таким чином, за нашими дослідженнями, гіпотеза зв'язку характеру зміни концентрації радону з підготовкою землетрусу видається достовірною і може бути використана як передвісник землетрусу в Карпатському регіоні, зокрема в горах Вранча.

Доцільним є розширення території радонометричних спостережень шляхом вимірювання концентрації радону в глибоких печерах та штольнях, а також

на розломах тектонічних плит. Це дозволить виключити вплив місцевих умов вимірювання концентрації радону та створити просторову карту її зміни перед землетрусами.

Використання фізичних методів спостереження передвісників землетрусів потребує необхідності вивчення фізики студентами вищих навчальних закладів і розширює можливості їх подальшого працевлаштування.

Список використаних джерел:

1. Криськов Ц.А. Фізика Землі : навчальний посібник. Кам'янець-Подільський : КПНУ, 2011. 152 с.
2. King Chi-Yu, Walkingstick C., Basler D. Radon in soil gas along active faults in Central California. Field studies of radon in rocks, soil and water / eds. L. Gunderson, R. Wanty. *U.S. Geological Survey Bulletin*. 1991. P. 77-133.
3. Булашевич Ю.П., Уткин В.И., Юрков А.К. Изменение концентрации радона в связи с горными ударами в глубоких шахтах. *Докл. РАН, 1996а*. Т. 346. № 2. С. 245-248.
4. Булашевич Ю.П., Уткин В.И., Юрков А.К., Николаев В.В. О возможности предсказания времени проявления горного удара по изменению концентрации радона. *Горный журнал*. 1996. № 6. С. 33-37.
5. Уткин В.И. Пространственно-временной мониторинг радона – основа среднесрочного прогноза землетрясений. *Уральский геофизический вестник*. 2000. № 1. С. 101-106.
6. Уткин В.И., Юрков А.К. Радон и проблема тектонических землетрясений. *Вулканология и сейсмология*, 1997. № 4. С. 84-92.
7. Уткин В.И., Юрков А.К. Отражение сейсмических событий в поле эксгаляции радона. *Геофизика*, 1997, № 6. С. 50-56.

О. Е. Smirnov¹, М. S. Muntyan¹, А. О. Hubanova²,
S. I. Dmytruk², S.V. Optasyuk²

¹Regional center of special control

²Kamianets-Podilskyi National Ivan Ohiienko University

INCREASES IN RADON ACTIVITY IN THE CENTER BEFORE SEISMIC SUBURBS IN CARPATHIAN REGION

The paper analyzes the data obtained from observations of changes in radon concentration on the Earth surface and demonstrates the effect of the coming earthquake on its change. It is illustrated that changes in radon concentration are not always connected with changes in atmospheric pressure. Predictions of such natural phenomena as earthquakes certainly cause interest of researchers and scientists. On the territory of Ukraine earthquakes are observed with different intensity, therefore, there is a need in control of seismogenic areas not only after the fact, but also in possibility of tracking the events, which are just approaching, and to estimate their energy. The data on presence of the earthquakes in July 2020 have been analyzed. It is noted that the cause of the earthquakes is the movement of tectonic plates and formation of faults and cracks in the lithosphere of the Earth

Key words: earthquake, radon, magnitude, radiometer, faults, cracks.

Отримано: 2.10.2020