

УДК 543.682+621.039.574.5

## МОНІТОРИНГ ЧАСОВИХ ВАРІАЦІЙ РАДІОНУКЛІДІВ Rn ТА Cs

Поп О.М.

Інститут електронної фізики НАН України, 88017, м. Ужгород,  
вул. Університетська, 21, oksana\_por@i.ua.

### Вступ

Використання напівпровідникових детекторів гамма – випромінювання дозволяє визначати широке коло гамма-активних нуклідів (ГАН): ГАН, випромінювання котрих входить в склад так званого природного гамма – фону (напр., Радон та продукти його розпаду); ГАН, які потрапили в довкілля внаслідок дії різних техногенних факторів (напр., Cs137).

### Моніторинг радіонуклідів у повітрі

У Відділі фотоядерних процесів ІЕФ НАН України здійснюється прикладна ядерна гамма-спектрометрія (ПЯГС) різноманітних об'єктів навколишнього середовища. Поряд з дослідженням зразків проводяться виміри фону (повітря робочої кімнати) на протязі дня. Таким чином, проводиться моніторинг повітря, який можна систематизувати у часовому інтервалі.

Необхідність дослідження повітря пов'язана з тим, що його природна радіоактивність зумовлена здебільшого вмістом радіонуклідів рядів Урану та Торію і продуктів їх розпаду.

На фон впливають метеорологічні фактори: вологість; атмосферний тиск; температура; погода; напрямок та інтенсивність вітру. В повітрі у невеликій кількості містяться: C14; ізотопи Rn та його дочірні ГАН; K40; інші компоненти (пил, забруднення).

На рис. 1-3 наведена зміна ГАН рядів Торію, Урану та Калію протягом 11 років. Як видно з рисунків, 2010 року спостерігається

підвищення інтенсивності дочірніх продуктів Rn222 (ряд U238) – Pb214 та Bi214, та K40; а у 2002 році – дочірнього продукту Rn220 – Tl208 (ряд Th232).

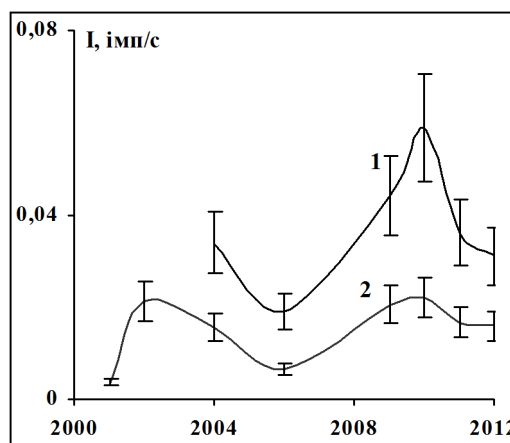


Рис. 1. Зміна Pb214 (1) та Bi214 (2) (ряд U238) протягом 11 років у гамма-фоні.

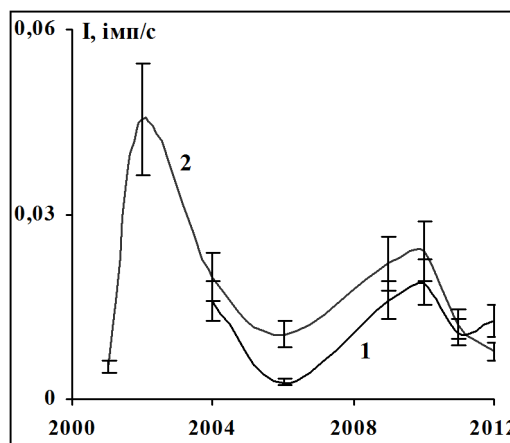


Рис. 2. Зміна Ac228 (1) та Tl208 (2) (ряд Th232) протягом 11 років у гамма-фоні.

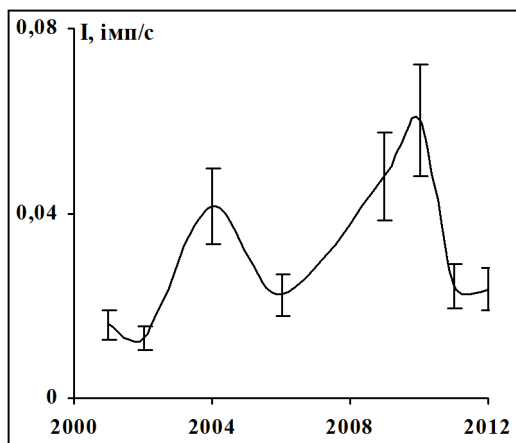


Рис. 3. Зміна K40 протягом 11 років у гамма-фоні.

### Радон як передвісник регіонального землетрусу

Протягом багатьох десятиліть були проведені, по всьому світу, вимірювання концентрації Радону в повітрі, ґрунтових водах і ґрунтах, і результати, очевидно, вказують на те, що Радон є хорошим індикатором активності земної кори, таким як землетруси. Однак, механізм залежності концентрації Радону від діяльності землетрусу ще не дуже добре вивчений. Дослідження землетрусу і даних по Радону показали, що між ними є зв'язок на рівні місцевого та регіонального землетрусу [1-3].

Уран міститься у більшості порід земної кори та ґрунтах. Близько 99,3% від цього Урану є ізотоп U238. Розпад U238 знаменує собою початок серії з 14 розпадів, який закінчується на ізотопі Pb206. Rn222 (період напіврозпаду 3,82 дня, безпосередньо виникає з Ra226) є проміжним радіоактивним, інертним, без запаху, кольору газом. У природі Радон знаходиться у вигляді трьох ізотопів: Rn222 – член ряду U238 ( $T_{1/2}=3,8$  днів), Rn220 (його називають також Торон) – член ряду Th232 ( $T_{1/2}=54,5$  сек) та Rn219 – член ряду U235 ( $T_{1/2}=3,92$  сек). Найбільший внесок в активність Радону вносить Rn222 і продукти його розпаду, менше – Rn220 (Торон) і продукти його розпаду, внеском же Rn219 можна знехтувати. У зв'язку з найбільшим періодом напіврозпаду, найбільш важливим є Rn222, який утворюється при розпаді Ra226. Так як період напіврозпаду Радону є невеликим, то він знаходиться лише кілька метрів глибиною у земній корі. Після його утворення у ґрунтах

та гірських породах Rn222 виходить з гірських порід, ґрунтів і надходить в атмосферу, де його поведінка та розподіл в основному регулюється метеорологічними умовами. Середня концентрація Радону в атмосфері залежить від багатьох чинників, таких як температура, швидкість вітру, тиск та ін. Середньодобове значення концентрації Радону в атмосферному повітрі взимку в 3-4 рази нижче, ніж влітку. З розпадом Радону пов'язана поява декількох дочірніх радіоактивних ізотопів: Po218, Pb214, Bi214, Po214. Ці радіонукліди легко зв'язуються з пилоподібними частинками, внаслідок чого вони є основними складовими АГС фону.

Вимірювання такого газу, як в ґрунтах, так і в ґрунтових водах показали, що просторові і тимчасові варіації можуть надати інформацію про геодинамічні події. Після багатьох проведених досліджень було виявлено співвідношення Радонових аномалій і землетрусів [4-7].

Радон використовують як передвісник землетрусів, так як його можна легко зафіксувати – виміряти аналітичними методами. Наголошується зв'язок вмісту Радону з локальними землетрусами. Вміст Радону (газу) у гірських породах різко змінюється за кілька тижнів або місяців перед великим землетрусом [1, 3, 8, 9].

Одним із методів, який використовується на даний момент часу для аналізу вмісту радіонуклідів в об'єктах навколишнього середовища, є низькофонова гамма-спектрометрія. Виміри гамма-фону здійснювались на гамма-спектрометричному пристрої СЕГ-40К-Ge. Детальний аналіз апаратурних гамма-спектрів фону, отриманих протягом тривалого часу моніторингу, дав змогу виявити збільшення активності (концентрації) Радону. Гамма-активність Радону в значній мірі зросла за два тижні до землетрусу (3-4 бали по шкалі Ріхтера), який відбувся 10.08.2011 р. в районі м. Берегово та до землетрусу, який відбувся поблизу села Синевир Міжгірського району 2 жовтня (3 бали по шкалі Ріхтера).

Із рис. 4-7, на яких показана зміна дочірніх продуктів Rn222 та Rn220 протягом трьох місяців 2011 року у гамма-фоні, наглядно видно збільшення інтенсивності ГАН перед землетрусами. На рис. 4, 5 видно, що Pb214 та Bi214 (дочірні продукти Rn222)

не корелюють між собою, що свідчить про постійне надходження Радону. На рис. 7 наведено періодичне збільшення Tl208, який є дочірнім продуктом Rn220.

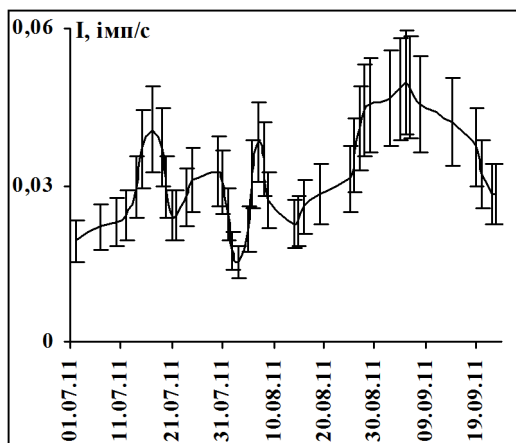


Рис. 4. Зміна Pb214 (ряд U238) протягом 3-х місяців 2011 року у гамма-фоні.

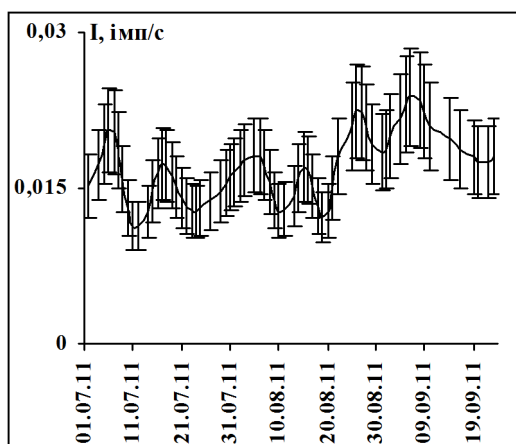


Рис. 5. Зміна Bi214 (ряд U238) протягом трьох місяців 2011 року у гамма-фоні.

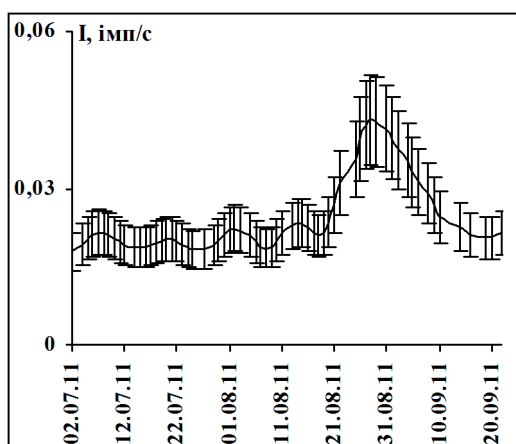


Рис. 6. Зміна K40 протягом 3-х місяців 2011 року у гамма-фоні.

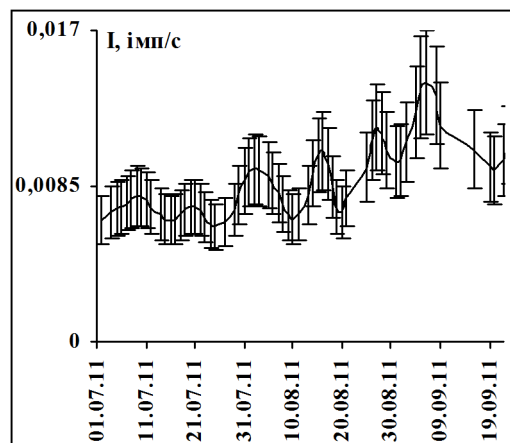


Рис. 7. Зміна Tl208 (ряд Th232) протягом 3-х місяців 2011 року у гамма-фоні.

### Цезій як наслідок техногенного впливу

Також був встановлений ще один цікавий факт – часова динаміка (епізодичне зростання) гамма-активності Cs137 ( $T_{1/2} = 30,18$  років). При дослідженні гамма-фону було встановлено періодичне збільшення концентрації Цезію 137.

Сьогодні Cs137 може потрапляти у навколишнє середовище в результаті викидів радіоактивних відходів в атмосферу та у водойми підприємствами атомної промисловості і атомної енергетики. Фізико-хімічні властивості Цезію обумовлюють високу рухомість Cs137 в екологічних ланцюгах біосфери та накопичення його в окремих частинах цих ланцюгів, включаючи організм людини.

У великих кількостях радіонуклід накопичується в ядерних реакторах у процесі їх експлуатації. Забруднювачами навколишнього середовища Cs137 можуть також бути заводи з переробки відпрацьованих твелів. Потенційні джерела надходження Cs137 у природне середовище – викиди з АЕС радіоактивних речовин у відкриті прісноводні водойми та сховища радіоактивних відходів.

Велика небезпека забруднення навколишнього середовища радіоактивним Цезієм виникає при аваріях АЕС, коли значно збільшуються його викиди. Рівень забруднення радіоактивним Цезієм навколишнього середовища залежить також від фізико-географічних і кліматичних

особливостей районів, розподілу атмосферних опадів та ін.

При ядерних вибухах утворюються дрібнодисперсні частинки, які адсорбують Цезій і повільно випадають на поверхню землі. Процес випадання прискорюють атмосферні опади і агрегація часток з утворенням більш великих.

Радіоактивний Цезій, який випав на поверхню землі, переміщується під впливом природних факторів у горизонтальному та вертикальному напрямках. Горизонтальна міграція відбувається при вітровій ерозії ґрунтів, змивання атмосферними опадами в низинні безстічні ділянки. Швидкість міграції залежить від гідрометеорологічних факторів (швидкості вітру та інтенсивності атмосферних опадів), рельєфу місцевості, виду ґрунтів і рослинності, і фізико-хімічних властивостей нукліда. Вертикальна міграція Цезію відбувається з підземними водами і пов'язаний з діяльністю ґрунтових тварин і мікроорганізмів, виносом з кореневого шару ґрунту в наземні частини рослин та ін. Рухливість і біологічна доступність нукліда з часом знижується в результаті переходу в "слабо обмінний" стан. У перші роки після випадання Цезій в основному міститься у верхньому, 5-10-сантиметровому, шарі ґрунту незалежно від її виду. Утримання нукліда відбувається завдяки високому вмісту у верхньому шарі дрібнодисперсних фракцій (особливо глинистих) і органічних речовин, що підвищують сорбційні властивості ґрунту [10].

Цезій, який є техногенним ГАН, присутній у повітрі Закарпаття. Динаміка його гамма-активності, можливо, є наслідком діяльності металургійного комбінату (Словаччина), роботи АЕС (Угорщина, Словаччина). Як видно з рис. 8 11 серпня 2011 року почалась підвищувати концентрація Cs137 до кінця вересня.

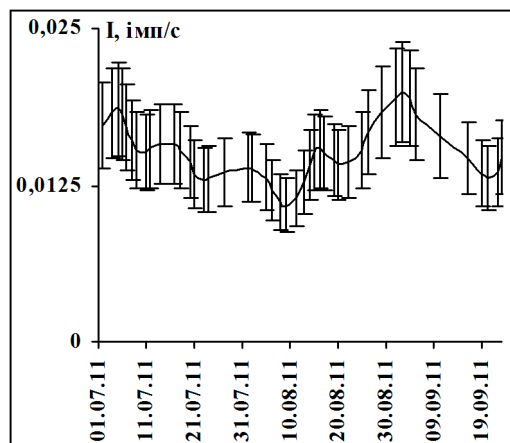


Рис. 8. Зміна Cs137 протягом літа 2011 року у гамма-фоні.

### Висновки

Детальний аналіз апаратурних гамма-спектрів фону, отриманих протягом тривалого часу моніторингу, дав змогу зробити висновок про можливу кореляцію «гамма-активність Радону (гамма – спектрометричний комплекс ІЕФ НАН У) – сейсмічна активність (Закарпаття)», а також дослідити динаміку Cs137 у повітрі. Також був здійснений моніторинг фону протягом останніх 10 років.

Таким чином, постійний моніторинг та детальніше дослідження гамма-фону дає змогу виявити багато факторів, що призводять до збільшення гамма-активності, а також, можливо, передбачити ряд процесів техногенного впливу на екологію.

Висловлюється подяка Маслоку В.Т. та Стецю М.В., Симулику В.М. за допомогу у виконанні дослідження.

Частина матеріалу представлена на Міжнародній конференції: Новітні напрями в атомній фізиці та спектроскопії (до 90-річчя від дня народження і 20-річчя створення ІЕФ НАН України).

### Література

- Zmazek B., Italiano F., Živčić M., Vaupotič J., Kobal I., Martinelli G. Soil-Gas Radon as a Possible Earthquake Precursor: A Case Study from the Khlung Marui Fault Zone, Southern Thailand Pattama Pispak, Helmut Dürrast and Tripob Bhongsuwan Kasetsart J. // Nat. Sci. – 2010. – Vol. 44. – P. 1079-1093.
- Al-Hilal M., Sbeinati M.R. and Darawcheh R. Radon variation and microearthquakes in western Syria // Applied Radiation and Isotopes – 1998. – Vol. 49, Nos. 1-2. – P. 117-123.

3. Antsilevich, M.G. An attempt to forecast the moment of origin of recent tremors of the Tashkent earthquake through observations of the variation of radon // *Izvestiâ Akademii nauk Uzbekskoj SSR.* – 1971. – P. 188-200.
4. Barsukov, V.I., Varshal, G.M., Garanin, A.B., and Serebrennikov, V.S. (1984). Hydrochemical Precursors of Earthquakes // *Earthquake Prediction, UNESCO, Paris.* – 1984. – P. 169-180.
5. Baykara O., Dogru M. Measurements of radon and uranium concentration in water and soil samples from East Antolian active fault systems (Turkey) // *Radiation Measurements.* – 2006. – Vol. 41(3). – P. 362–367.
6. Erees F.S., Yener G., Salk M., Ozbal O. Measurements of radon content in soil gas and in the thermal waters in Western Turkey // *Radiation Measurements.* – 2006. – Vol. 41. – P. 354–361.
7. Hauksson E. Radon content of groundwater as an earthquake precursor: evaluation of worldwide data and physical basis // *Journal of geophysical research.* – 1981. – Vol. 86. – P. 9397-9410.
8. Hauksson E., Goddard J.G. Radon earthquake precursor studies in Iceland // *J. Geophys. Res.* – 1981. – Vol. 86, No. B 8. – P. 7037-7054.
9. Ramola R.C., Sing S. and Virk H.S. The correlation between radon anomalies and magnitude of earthquakes // *Nucl. Tracks Radiat. Meas.* – 1988. – Vol. 15. – P. 689-692.
10. Боголюбов В. М., Клименко М. О., Мокін В. Б. та ін. Моніторинг довкілля. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 232 с.

## MONITORING OF TIME VARIATIONS OF RADON AND CESIUM RADIONUCLIDES

Pop O.M.

It has been shown that at the continuous monitoring and studying the gamma-background it appears to be possible to observe a number of factors, e.g., the radon concentration variation, which is the earthquake marker. It is also possible to predict a series of processes of technogenic impact on the Transcarpathian environment.