

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2021.06.139>

УДК 539.1, 550.422, 550.35

Н.І. Сватюк¹, <https://orcid.org/0000-0001-9022-9252>

В.І. Роман¹, <https://orcid.org/0000-0003-2499-8357>

О.М. Поп¹, <https://orcid.org/0000-0002-5690-1030>

О.І. Симканич², <https://orcid.org/0000-0002-9948-1742>

І.В. Пилипчинець¹, <https://orcid.org/0000-0002-0120-7703>

¹ Інститут електронної фізики НАН України, Ужгород

² ДВНЗ “Ужгородський національний університет”

E-mail: natashasim777@gmail.com, viktoriyaroman11@gmail.com

Радіоізотопні дослідження басейну річки Тиса, Ужанський масив

Представлено членом-кореспондентом НАН України Г.М. Гомонай

Наведено результати застосування ядерно-фізичних методів дослідження радіоізотопного складу донних відкладів та ґрунтів басейну р. Тиса на прикладі р. Уж, територія Закарпаття. Для отримання бази даних щодо вмісту природних та штучних гамма-активних нуклідів використано метод низькофонової гамма-спектрометрії. Показано можливість якісної оцінки хімічних компонент U/Th/K у донних відкладах р. Уж. Одержані результати радіоізотопних досліджень дозволять моделювати процеси міграції гамма-активних нуклідів із водосховищ у ґрунтові горизонти досліджуваних територій, а також прогнозувати транс-кордонні міграції гамма-активних нуклідів.

Ключові слова: *радіоізотопний склад, техногенні й природні нукліди, питомий вміст, акумуляція-поширення, уран/торієві компоненти.*

Гірські системи мають особливий ізотопний та мікроелементний склад ґрунтів і водних ресурсів та істотно впливають на екологічні показники значних прилеглих територій. У цьому контексті важливу роль відіграє радіоекологічний моніторинг, особливо у межах природно-заповідного фонду, адже він дозволяє врахувати особливості кліматичних, морфологічних і геологічних умов територій при встановленні нормативів стану об'єктів довкілля. Вкрай актуальні такі дослідження для молодих гір, якими є Карпати, зокрема території Закарпатської обл., яка заслуговує особливої уваги, адже зональність території області з виділенням гірських, передгірських і низовинних районів потребує визначення фонових

Цитування: Сватюк Н.І., Роман В.І., Поп О.М., Симканич О.І., Пилипчинець І.В. Радіоізотопні дослідження басейну річки Тиса, Ужанський масив. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2021. № 6. С. 139–145.

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2021.06.139>



Рис. 1. Ділянки відбору проб ґрунтів та донних відкладів р. Уж в Ужанському регіоні

значень вмісту питомої активності гамма-активних нуклідів (ГАН) у об'єктах навколишнього природного середовища. Крім того, географічне розташування Закарпатської обл. викликає інтерес у проведенні подібних досліджень, тому що екологічний стан цієї території значною мірою визначає екологічний стан територій країн Євросоюзу. Цікавим є і зворотній зв'язок щодо можливості транскордонного переносу забруднювальних речовин на територію Закарпаття, оскільки Карпатські гори – це своєрідний бар'єр міграції техногенних факторів. Водночас у науковій літературі практично відсутні дані про проведення таких досліджень. Тому, на наш погляд, перспективним є радіоізотопне дослідження Ужанського національного парку, що входить до складу транскордонного українсько-польсько-словацького біосферного резервату “Східні Карпати”, об'єкту всесвітньої спадщини ЮНЕСКО і є територією Смарагдової мережі [1]. Важливо також вивчати одну з головних водних артерій регіону (ліву притоку р. Тиса) р. Уж, яка, протікаючи поблизу державного кордону, нижче м. Ужгород, перетинає державний кордон зі Словаччиною.

У роботі розглядаються регламенти та процедура встановлення радіаційних показників досліджуваних територій: схема пробовідборів, вибір ізотопів-міток для їх характеристики та особливості низькофонових гамма-спектрометричних досліджень для встановлення стандартів вмісту / співвідношення кларків хімічних елементів U/Th, показана можливість прогнозування транскордонної міграції ГАН прилеглих територій.

Методологія. Вибір положення та числа точок пробовідбору мають визначатися як геоморфологічними показниками досліджуваної території, так й інтенсивністю техногенних факторів. Зауважимо, що здатність ґрунтів акумулювати радіонукліди залежить від співвідношення в них органічних компонент, як гумусу, так і мінеральної складової. Так, здат-

ність гумусу адсорбувати катіони радіоактивних атомів у 10 раз вища, у порівнянні з мінеральними колоїдами [2]. Середня концентрація радію-226 в ґрунтах становить 26 Бк/кг (0,7 нКі/кг), свинцю-210 і полонію-210 – приблизно, 33 Бк/кг (0,9 нКі/кг), причому, близько 30% цих ізотопів потрапляє в ґрунт з атмосферними опадами. Активність гірських порід і ґрунтів (за рахунок рубідію-87) коливається від 1 до 200 Бк/кг (0,036–5,5 нКі/кг), інші природні радіонукліди містяться в значно менших кількостях. Загальна питома γ -активність ґрунту становить, приблизно, 550–740 Бк/кг (15–20 нКі/кг). Відбір проб ґрунтів і донних відкладів р. Уж (Ужанського регіону) здійснювали з урахуванням висоти місцевості, типу ґрунтів, морфологічних особливостей річки та інших критеріїв. На рис. 1 представлено ділянки відбору проб ґрунтів і донних відкладів Ужанського регіону з відображенням геоморфологічних відмінностей території.

Зразки для вимірювань відбиралися за правилом конверту в контрольних точках ділянки розміром $100 \times 100 \text{ см}^2$. Фіксувалися координати точок пробовідбору за допомогою GPS-навігації. Проби донних відкладів відбиралися щоквартально, а ґрунти – одноразово з урахуванням стаціонарності системи [3, 4].

Оскільки кожний зразок намулу / ґрунту давав інформацію про питомий вміст не одного, а набору ГАН техногенного та природного походження – для систематизації та узагальнення даних радіоекологічного моніторингу використовували метод багатовимірного статистичного аналізу. Завдання, які вирішували – встановлення однорідності сукупності ознак пробовідборів, ступеню статистичної близькості точок пробовідбору, тісноти статистичного зв'язку та кореляції ГАН природних рядів, а також впливу різного роду латентних показників. Перспективним є метод встановлення кларкових уран/торієвих/калієвих співвідношень через значення питомих активностей $\frac{A^{(Th)}}{A^{(U)}}$, $\frac{A^{(Th)}}{A^{(40K)}}$ який виражається через формули [5]:

$$\frac{N_{Th}}{N_U} \cong \frac{T_{1/2}^{(Th)}}{T_{1/2}^{(U)}} \cdot \frac{A^{(Th)}}{A^{(U)}}, \quad \frac{N_{Th}}{N_{40K}} \cong \frac{T_{1/2}^{(Th)}}{T_{1/2}^{(40K)}} \cdot \frac{A^{(Th)}}{A^{(40K)}}, \quad (1)$$

де $\frac{T_{1/2}^{(Th)}}{T_{1/2}^{(U)}} \left(\frac{T_{1/2}^{(Th)}}{T_{1/2}^{(40K)}} \right)$ – відношення періодів напіврозпадів ізотопів ^{232}Th та ^{238}U , (^{232}Th , ^{40}K).

Знаючи питомий вміст ізотопів ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K у складі хімічних елементів торію, урану та калію можна оцінити відношення кількостей хімічних елементів за числом атомів:

$$\text{U:Th:K}. \quad (2)$$

Просторові закономірності розподілу радіоізотопного складу намулів та ґрунтів Ужанського масиву. Вибір об'єкту дослідження зумовлений віддаленістю його від джерел антропогенного впливу, вмістом низько- та високогірних ділянок території, а також таких, що знаходяться безпосередньо біля кордону. Результати фонових моніторингу є основою для встановлення стандартів питомих вмісту радіонуклідів і мікроелементного складу ґрунтів

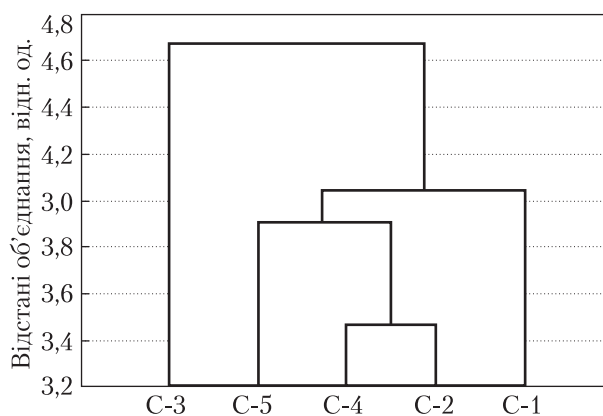


Рис. 2. Результати кластерного аналізу статистичної близькості точок пробовідбору для всього масиву ГАН техногенного ($^{137}\text{Cs}-i$) та природного ($^{214}\text{Bi}-i$, $^{212}\text{Pb}-i$, $^{40}\text{K}-i$) походження $i = 1-5$ вздовж русла р. Уж

та донних відкладів [6]. Вони дозволяють врахувати особливості геології й геохімії досліджуваних територій, впливу кліматичних та інших умов на формування природного фону.

Річка Уж — це одна з найбільших приток головної водної артерії регіону (р. Тиса). У табл. 1 містяться систематизовані дані за точками пробовідбору впродовж усього часу спостереження. Результати усередненого вмісту стандарту ГАН свідчать про збільшення питомого вмісту природного ^{40}K та техногенного ^{137}Cs у зразках намулів, при переході від висотних до низинних ділянок русла ріки [7]. Збільшення ^{137}Cs складової зумовлено саме антропогенним чинником, який зумовлений діяльністю людини на досліджуваній території.

На рис. 2 показано результати дослідження статистичної близькості точок пробовідбору вздовж русла р. Уж.

Розгляд діаграми вказує на те, що відбувається кластеризація між низинними точками пробовідбору 4 (с. Зарічево) та 5 (с. Оноківці). Проте, така ж залежність існує між точками 2 (с. Забрідь) та 4 (с. Зарічево), що може бути обумовлено подібним характером ант-

Таблиця 1. Усереднений питомий вміст (стандарт) ГАН у зразках намулів р. Уж за весь період спостереження: для вибраних точок пробовідбору, а також узагальнене значення (стандарт) для всього русла річки

Номер пробовідбору, населений пункт	Питома активність			
	^{40}K , Бк/кг	^{137}Cs , Бк/кг	^{214}Bi , Бк/кг	^{212}Pb , Бк/кг
1, с. Сіль	333,6	3,6	21,6	23,6
2, с. Забрідь	320,7	3	16,6	17,4
3, с. М. Березний	295	3	20,9	18,8
4, с. Зарічево	335,5	4,1	21,6	24
5, с. Оноківці	377,9	4,1	24	22,6
Дисперсія	19,752	0,448	1,752	2,544
Стандарт	332,5	3,56	20,9	21,3

ропогенної активності цих ділянок русла р. Уж та схожими геохімічними факторами прилеглої території.

Фактор діяльності людини може знижувати ступінь статистичних залежностей між вмістом ГАН природних рядів у зразках намулів [8]. Це зменшує достовірність встановлення кларкових компонент для даного басейну, проте, їх оцінка із використанням формул (1) та (2) дає наступну характеристику кларків відношень кількостей хімічних елементів за числом атомів:

$$U:Th:K = 1:3:11084 \text{ ат.}\% \quad (3)$$

Результати радіоізотопного дослідження ґрунтів Ужанського регіону показують збільшення питомого вмісту природного ^{40}K для верхнього шару ґрунту, який складає 554,6 Бк/кг. Для маркера техногенного ^{137}Cs 16,2 Бк/кг. Слід зазначити, що дані радіоекологічного дослідження для Ужанського регіону проведено тільки для поверхневих шарів ґрунту.

Із показників видно, що спостерігається зменшення кларкового компоненту торію та калію для досліджуваних територій у порівнянні із такими ж значеннями для намулів р. Уж, яка протікає досліджуваними територіями.

Кларковий вміст відношення U/Th для ППН “Ужанський” становить $U:Th:K = 1:2,7:10675$ ат. %.

Висновки. У результаті проведеного радіоізотопного дослідження Ужанського регіону отримано усереднені показники (стандарт) питомого вмісту ГАН природного та техногенного походження. Показано особливості їх значень для ізольованих гірських районів Карпат, характер їх зміни для гірських та низинних ділянок басейну р. Уж. Отримані дані радіоізотопного дослідження дозволяють моделювати процеси міграції ГАН із донних відкладів у глиб ґрунтового ландшафту територій, що дозволяє прогнозувати транскордонну міграцію ГАН прилеглих територій.

Дослідження виконані в Інституті електронної фізики НАН України у рамках Гранту НАН України дослідницьким лабораторіям/групам молодих вчених НАН України для проведення досліджень за пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки 2021–2022 рр. “Радіоекологічний моніторинг вмісту радіонуклідів у водно-ґрунтовому комплексі українських Карпат: модель прогнозування й запобігання можливим катастрофічним наслідкам”.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Chau N.D., Lucyna R., Nowak J., Jodłowski P. Radium isotopes in the Polish Outer Carpathian mineral waters of various chemical composition. *J. Environmental Radioactivity*. 2012. **112**. P. 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.03.010>

Таблиця 2. Усереднені показники ГАН (стандарт) в ґрунтах гумусного/поверхневого горизонту території НПП “Ужанський”

ГАН	Питома активність, Бк/кг	Дисперсія
^{40}K	554,6	131
Ряд ^{238}U	^{214}Pb	31,6
	^{214}Bi	32,5
Ряд ^{232}Th	^{212}Pb	38,06
	^{212}Bi	35,6
	^{228}Ac	38,2
^{137}Cs	16,2	5,49

2. Badawy W.M., Dulu O.G., Frontasyeva M.V., Samman H.El. & Faanhof A. Environmental radioactivity of soils and sediments: Egyptian sector of the Nile valley. *Isotopes in Environmental and Health Studies*. 2018. **54**, Iss. 5. P. 535–547. <https://doi.org/10.1080/10256016.2018.1482292>
3. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность: ГОСТ 17.1.5.01-80 [Введ. 01.01.81]. Москва: Госкомитет СССР по стандартам, 1981. 6 с.
4. Организация и проведение наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов: РД 52.24.609-2013. [Введ. 02.09.2013]. Ростов-на-Дону: Росгидромет, 2013. 43 с.
5. Dikiy N.P., Lyashko Yu.V., Medvedeva E. P., Medvedev, D. V., Parhomenko, Yu. G., Fedorets, I. D. The content of natural radioactive isotopes in soil of Kharkov region. *Problems of atomic science and technology. Series: Nuclear Physics Investigations*. 2017. 3 (109). P. 55–59.
6. Maslyuk V., Svatyuk N., Stets M., Frontasyeva M., Parlag O. Statistical regularities in the distribution of radionuclides in sediments of Transcarpathia mountain rivers. *J. Environmental Radioactivity*. 2013. **117**. P. 9–12. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.04.016>
7. Svatiuk N.I., Symochko D.M.. Radioecology of Transcarpathian mountain Rivers: Time and Spatial Correlations. *Nuclear Physics and Accelerators in Biology and Medicine. Fifth International Summer School* edited by A.Dubnichkova, S. Dubnichka, C. Granja, C. Leroy, I. Stekl. AIP Conference Proceedings. 2010. 1204. P. 263–264.
8. Symkanich O., Maslyuk V., Svatyuk N., Parlag O., Shpenik O., Sukharev S. Radionuclide monitoring in Transcarpathian region: the role natural and antropogenic factors. *Acta facultatis studiorum humanitatis et naturae universitatis presoviensis. Natural sciences. Biology-ecology*. Preshov, Slovak republic. 2016. **43**, № 6. P. 112–120.

Надійшло до редакції 13.09.2021

REFERENCES

1. Chau, N. D., Lucyna, R., Nowak J., & Jodłowski P. (2012). Radium isotopes in the Polish Outer Carpathian mineral waters of various chemical composition. *Journal of Environmental Radioactivity*, 112, pp. 38-44.
2. Badawy, W. M., Dulu, O. G., Frontasyeva, M. V., El Samman, H. & Faanhof, A. (2018). Environmental radioactivity of soils and sediments: Egyptian sector of the Nile valley, *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 54, Iss. 5, 535-547. <https://doi.org/10.1080/10256016.2018.1482292>
3. Okhrana pryrodu. Hydrosfera. Obshchye trebovaniya k otboru prob donnykh otlozheniy vodnykh ob'ektov dlia analiza na zahriaznennost: HOST 17.1.5.01-80 [Vved. 01.01.81]. Moscow: Hoskomytet SSSR po standartam, 1981. 6 s. (in Russian).
4. Orhanyzatsiya y provedenye nabliudenyi za sodержanyem zahriazniaiushchykh veshchestv v donnykh otlozheniyakh vodnykh obyektov: RD 52.24.609-2013. [Vved. 02.09.2013]. Rostov-na-Donu: Roshydromet, 2013. 43 s. (in Russian).
5. Dikiy, N. P., Lyashko, Yu. V, Medvedeva, E. P., Medvedev, D. V, Parhomenko, Yu. G. & Fedorets, I. D. (2017). The content of natural radioactive isotopes in soil of Kharkov region. *Problems of atomic science and technology. Series: Nuclear Physics Investigations*, 3 (109), pp. 55-59.
6. Maslyuk, V., Svatyuk, N., Stets, M., Frontasyeva, M. & Parlag, O. (2013). Statistical regularities in the distribution of radionuclides in sediments of Transcarpathia mountain rivers. *Journal of Environmental Radioactivity*, 117. P. 9-12. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.04.016>
7. Svatiuk, N. I. & Symochko, D. M. (2010). Radioecology of Transcarpathian mountain Rivers: Time and Spatial Correlations. *Nuclear Physics and Accelerators in Biology and Medicine. Fifth International Summer School* edited by A.Dubnichkova, S. Dubnichka, C. Granja, C. Leroy, I. Stekl. AIP Conference Proceedings; 1/5/2010, 1204. Iss. 1, pp. 263-264.
8. Symkanich, O., Maslyuk, V., Svatyuk, N., Parlag, O., Shpenik, O. & Sukharev, S. (2016). Radionuclide monitoring in Transcarpathian region: the role natural and antropogenic factors. *Acta facultatis studiorum humanitatis et naturae universitatis presoviensis. Natural sciences. Biology-ecology*. Preshov, Slovak republic, 43, 6, pp. 11-120.

Received 13.09.2021

N.I. Svatiuk¹, <https://orcid.org/0000-0001-9022-9252>

V.I. Roman¹, <https://orcid.org/0000-0003-2499-8357>

O.M. Pop¹, <https://orcid.org/0000-0002-5690-1030>

O.I. Simkanich², <https://orcid.org/0000-0002-9948-1742>

I.V. Pylypchynets¹, <https://orcid.org/0000-0002-0120-7703>

¹ Institute of Electron Physic of the NAS of Ukraine, Uzhhorod

² Uzhhorod National University

E-mail: natashasim777@gmail.com, viktoriyaroman11@gmail.com

RADIOISOTOPE STUDIES OF THE TISZA RIVER BASIN, UZHANSKY MASSIF

The results of applying nuclear-physical research methods of determination of the radioisotope composition of bottom sediments and soils of the Tisza river basin, on the example of the Uzh river on the Transcarpathian territory are presented. The database of contents for natural and man-made gamma-active nuclides is obtained using the low-background gamma spectrometry method. The results obtained are essential for setting the standards for their content and for the study of mountain areas. The possibility to establish U/Th/K chemical components in the bottom sediments of the Uzh river is shown. The results of radioisotope research allow modeling the processes of migration of gamma-active nuclides from reservoirs into the soil horizons of the studied areas. These data are important for predicting the transboundary migration of gamma-active nuclides.

Keywords: *composition of radioisotopes, man-made and natural nuclides, specific content, accumulation-distribution, U/Th abundances.*