

УДК: 550.42

PACS: 34.80.Dp, 34.80.Gs

DOI: 10.24144/2415-8038.2018.44.99-108

Н.І. Сватюк<sup>1</sup>, В.Т. Маслюк<sup>1</sup>, О.І. Симканич<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут електронної фізики НАН України, вул. Університетська, 21, 88017, Ужгород, Україна. e-mail: [natashasim777@gmail.com](mailto:natashasim777@gmail.com)

<sup>2</sup>Ужгородський національний університет, вул. Волошина, 54, 88000, Ужгород, Україна.

## РАДІОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ПОНЯТТЯ: «РАДІАЦІЙНА ПОГОДА» ТА «РАДІАЦІЙНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДОВКІЛЛЯ»

Обговорюються нові терміни "радіаційної погоди" та "радіаційної ідентифікації довкілля" для оцінки екологічного стану Закарпаття. Представлено основи методики радіоекологічного моніторингу довкілля, що дозволяють встановити параметри "радіаційної погоди". Представлено результати таких досліджень для басейнів гірських рік та заповідних територій Закарпаття та отримана база стандартів вмісту гамма-активних нуклідів (ГАН) природного і техногенного походження із застосуванням методики низьфонової гамма-спектрометрії. Показана можливість встановлення кларкових вмістів U/Th/K компонентів у зразках донних відкладень та ґрунтів Закарпаття по даних радіоекологічного моніторингу, а також оцінки поширення радіоактивних ізотопів радону/торону на основі даних радіаційного картографування гірських територій Карпат.

**Ключові слова:** радіоекологія, радіаційна погода, намули гірських рік, ґрунти заповідників, стандарти вмісту, U/Th/K кларки.

### Вступ

Відомо про важливість контролю екологічного стану довкілля, який визначає характер життя біоти, зокрема населення на даній території. Предметом радіологічного моніторингу є стан наземної радіоактивності, який формується ізотопами природного, штучного походження, та їх  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - спектри випромінювання. У свою чергу, вміст і співвідношення цих радіонуклідів визначається сукупністю факторів як біологічні, геохімічні, техногенні чи глобальні, що важливо для екологічних досліджень.

Радіоекологія, яка донедавна асоціювалася із протидією наслідкам ядерних катастроф, тепер орієнтується на вивчення особливостей життя біоти в умовах дії природної радіації, ролі радіації в процесах метаболізму та генетичної модифікації живих організмів. Відкритим питанням залишається існування життя без радіації та співвідношення «шкоди-користі» від радіаційних чинників. Слід зауважити, що життя біоти проходить на поверхні природного ядерного реактора, яким є Земля, що рухається у космосі, характеристики якого формують параметри

«космічної погоди». В такій же мірі можна говорити, що сукупність радіаційних факторів, у яких проживає біота, формують параметри «радіаційної погоди». Характеристики «радіаційної погоди» можуть бути встановлені через процедуру радіологічного моніторингу, а отримані дані є важливими для пояснення статистичних показників здоров'я, що визначають якість життя біоти та людини на досліджуваних територіях. Іншим етапом є радіаційне картографування, про які говорив ще В. Вернадський [1].

Рівні наземної радіації розподіляються нерівномірно по поверхні Землі і залежать від складу й концентрації радіоактивних ізотопів природних рядів U, Th та Np у земній корі. З іншого боку, вміст та співвідношення цих ізотопів та їх хімічних елементів є важливими для радіаційної ідентифікації/паспортизації території.

В даній роботі подано результати радіоекологічного моніторингу, що проводився по руслах гірських рік та заповідних територіях Закарпаття. Розглядаються регламенти та процедура встановлення радіаційних показників досліджуваних територій: схема

пробовідборів, вибір ізотопів-міток для їх характеристики та особливості низькофонової гамма-спектрометричних досліджень. Приводяться перші результати радіаційного картографування територій та їх паспортизації.

### **Радіоекологія: сучасні можливості методу**

Радіонуклідний аналіз вирішує фундаментальні проблеми поширеності хімічних елементів на прикладі зразків порід, ґрунту та донних відкладень водойм, які відображають характер і динаміку створення земної кори, а також вивчення ролі наземної радіації для життя людини [1]. Враховуючи, що ядерно-фізичні методи реєстрації спонтанного чи стимульованого випромінювання зразків довкілля мають унікальну чутливість (до  $10^{-6}$  г/г), є універсальними щодо маси і розмірів зразків, це створює особливі можливості для їх подальшого розвитку. Новим є можливість поєднання трьох аналітичних методик – низькофонової гамма-спектрометрії та гамма- і нейтроноактиваційного аналізу, що розширює число та достовірність встановлення вмісту ідентифікованих важких металів (радіонуклідів). Важливим також є системне застосування методів багатовимірного статистичного аналізу для встановлення ступеню рівноваги, кореляційних співвідношень радіонуклідів уранового й торієвого рядів у зразках екологічних об'єктів.

Характеристики "радіаційної погоди", термін якої було встановлено в [2] можуть бути встановлені через процедуру радіологічного моніторингу. Отримані при цьому дані є важливими для радіаційної ідентифікації довкілля значних територій через співвідношення базових компонент уран/торієвих рядів та, наприклад,  $^{40}\text{K}$ . Методологія нового підходу про "радіаційну погоду" базується на представленні про рівновагу (чи квазірівновагу) нуклідів природних рядів U, Th, Np, які визначають структуру активності природного фону та зразків довкілля. Відхилення ж від такої рівноваги визначаються по наборах ізотопів-міток і свідчать про наявність факторів природного, чи штучного походження, які

мають бути встановлені [3]. Вибір ізотопів-міток є важливою, але ще не вирішеною проблемою радіоекологічного моніторингу довкілля. Задача полягає у достатності вибірки ізотопів базових і маркерних елементів у екологічних зразках (скальні породи, ґрунти, донні відкладення, рослинність) для діагностики стану довкілля. Такі ізотопи як  $^{214}\text{Bi}$  та  $^{214}\text{Pb}$  можуть бути використані для визначення вмісту радіоактивних серій U ( $^{238}\text{U}$ ), чи еквівалентного Th ( $^{232}\text{Th}$ ). Для цих цілей також можна використати ізотопи-мітки  $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Bi}$  та  $^{228}\text{Ac}$ , а також  $^{40}\text{K}$  як маркери природних або геохімічних характеристик регіону. Так, для встановлення наявності рівноваги для ізотопів U/Th серії можна використовувати дані про рівність активностей  $^{214}\text{Bi}/^{214}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Pb}/^{212}\text{Bi}$  ізотопів. Інтенсивність техногенних факторів може бути проаналізована шляхом дослідження вмісту  $^{137}\text{Cs}$ , або досліджуючи активність активності різних ізотопів урану як  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  для характеристики наявності ядерних об'єктів, або АЕС, чи  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ,  $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$ , що вказують на відпрацьовані радіоізотопні матеріали.

Важливо встановити ступінь кореляційних залежностей та характер кластеризації точок пробовідбору або вмісту характеристичних радіонуклідів в зразках довкілля, використовуючи базу даних, отриману в результаті інструментальних досліджень. Це дозволяє виявити закономірностей прояву геохімічних, просторових, сезонних та техногенних факторів, характерних для даного регіону, що впливають на статистичні закономірності розподілу ізотопів-міток у зразках довкілля.

### **Методики пробовідбору ґрунтів та намулів рік гірських районів Закарпаття**

Для встановлення ролі сезонних факторів у формуванні ізотопного складу довкілля, проби мають відбиратися з періодом, що забезпечує можливість оцінки ступеня забрудненості донних відкладень у характерні фази їх гідрологічного режиму. Для вивчення впливу геохімічних та техногенних факторів на екосистему гірських районів Карпат, вибрана наступна

схема пробовідбору для досліджуваної ріки: першу точку слід обирати у верхів'ї гірської річки, де вплив людини на екосистему найменший; інші точки слід вибирати нижче по течії річки, де антропогенне навантаження зростає, за рахунок збільшення густини населення, кількості неочищених стічних вод, що відводяться в річку, зростання кількості неконтрольованих сміттєзвалищ вздовж берегів та зменшення лісистості. Точки пробовідбору визначалися за допомогою GPS-навігації, а відстань між ділянками пробо відбору становила 10–20 км, з урахуванням рекомендацій [4].

Схематичне представлення розташування точок пробовідбору (1Т–5Т) із початком у верхів'ї гірської річки показано на рис.1.

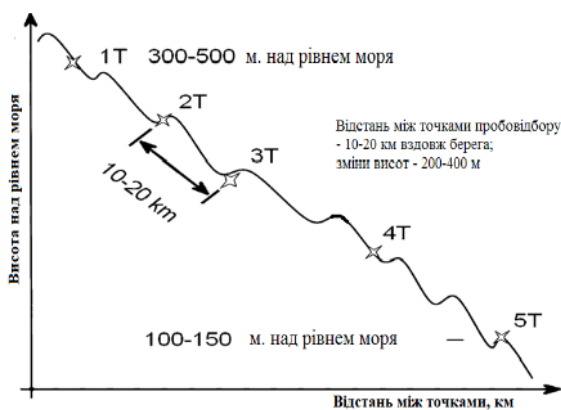


Рис. 1. Схема гірського рельєфу та положення точок пробовідбору намулів (1Т – 5Т) вздовж русла гірських річок

Пробовідбір зразків мулової грязі річок вагою понад 1500 – 2000 г здійснювався у фіксованих точках ручним методом з глибини 2 – 15 см з використанням драг. Проби упаковувались, транспортувались і зберігались, згідно стандартів [4] в поліетиленових пакетах, що містили пакувальний ярлик із зазначенням дати відбору, номера проби та інформацію про місце відбору проб. Після того, підготовлені проби намулу масою 1–1,5 кг насипались у посудину Марінеллі, для проведення їх радіоспектроскопічного аналізу.

Проби ґрунту відбирались за «правилом конверту» [5]. Проби ґрунтів відбирались з глибини: 0-20 см – гумусовий ґрунтовий горизонт; 20-50 см – верхній перехідний горизонт; > 50 см – нижній

перехідний горизонт, підготовка їх до аналізу, транспортування і зберігання здійснювали у відповідності з [5, 6]. Відбір проб проводився, з урахуванням вертикальної структури ґрунтів, неоднорідності покриву ґрунту, рельєфу і клімату місцевості, а також з урахуванням особливостей забруднюючих речовин або організмів. Проби відбиралися за профілем з ґрунтових горизонтів або шарів, з таким розрахунком, щоб у кожному випадку, проба була частиною ґрунту, типовою для генетичних горизонтів або шарів даного типу ґрунту.

Як і в попередньому випадку, відібрані проби слід було пронумерувати і зареєструвати в журналі, вказавши: номер і місце взяття проби, рельєф місцевості, тип ґрунту, цільове призначення території, вид забруднення, дату відбору [6].

Місце пробовідбору ґрунтів обиралось достатньо віддалено від висотних об'єктів (будівель, дерев). Важливим є, також, віддаленість точок пробовідбору від доріг і місць акумулювання або змиву радіоактивного забруднення на поверхні ґрунту.

#### Методика низькофонових досліджень для оцінки показників радіаційної погоди досліджуваних територій

У разі, коли можна говорити про вікову рівновагу між членами природних рядів, можна оцінити відношення по числу атомів, через відомі значення їх питомих активностей. Проте прямі методи у даному випадку не можна використати, оскільки, невідомими є початкові кількості  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ . Тому для таких задач намагаються використати наявність рівноваги або всередині радіоактивних рядів, або між цими рядами.

Так, для радіоактивного ряду  $^{232}\text{Th}$ , слід сподіватися на рівновагу для нуклідів  $^{212}\text{Pb}$ – $^{208}\text{Tl}$ , а також, для ланцюгів перетворень  $^{228}\text{Ac}$ – $^{212}\text{Pb}$  (проміжний  $^{228}\text{Th}$  з  $T_{1/2}=1,91$  років). У випадку природних рядів  $^{238}\text{U}$  може йти мова про те, що ГАН  $^{214}\text{Pb}$ – $^{214}\text{Bi}$  знаходяться у рівновазі. Складно встановлюється наявність рівноваги для ланцюжків  $^{226}\text{Ra}$ – $^{214}\text{Pb}$ , що пояснюється вкладом з активністю 186 кеВ від лінії  $^{235}\text{U}$ ,

як найбільш ймовірної, а також видалення високорухливого радону  $^{222}\text{Rn}$  ( $T_{1/2}=3,82$  дні), продукту розпаду материнського  $^{226}\text{Ra}$  ( $T_{1/2}=1600$  років).

Перспективним є метод встановлення кларкових співвідношень хімічних елементів, через значення активностей радіонуклідів  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  рядів, а також  $^{40}\text{K}$ , у разі наявності кореляції між їх значеннями досліджуваних зразків [7]. Так, для оцінки кларкового вмісту у зразках уран-торієвих компонент, необхідним є встановлення відношення їх активностей, визначених у

низькофононих експериментах,  $\frac{A^{(Th)}}{A^{(U)}}$ .

Наступним кроком, є встановлення кількостей цих радіонуклідів по числу атомів, з використанням формули:

$$\frac{N_{Th}}{N_U} \cong \frac{T_{1/2}^{(Th)}}{T_{1/2}^{(U)}} * \frac{A^{(Th)}}{A^{(U)}} \quad (1)$$

тут  $\frac{T_{1/2}^{(Th)}}{T_{1/2}^{(U)}}$  – відношення періодів

напіврозпадів ізоотопів  $^{232}\text{Th}$  та  $^{238}\text{U}$ , яке дорівнює 3,14. Зауважимо, що вміст ізоотопу  $^{232}\text{Th}$  у хімічному елементі торію становить 100%, а ізоотопу  $^{238}\text{U}$  у урані складає 99,27%.

Тому, відношення кількостей хімічних елементів торію та урану  $\frac{N^{(Th)}}{N^{(U)}}$  у досліджуваних зразках з високою точністю визначається рівнянням (1).

Такі ж співвідношення для активностей  $^{232}\text{Th}$  та  $^{40}\text{K}$  у досліджуваних

зразках  $\frac{A^{(Th)}}{A^{(40K)}}$  дають можливість встановлення кількостей для цих радіонуклідів по числу атомів, використовуючи формулу:

$$\frac{N_{Th}}{N_{40K}} \cong \frac{T_{1/2}^{(Th)}}{T_{1/2}^{(40K)}} * \frac{A^{(Th)}}{A^{(40K)}} \quad (2)$$

як і в попередньому випадку відношення  $\frac{T_{1/2}^{(Th)}}{T_{1/2}^{(40K)}}$  для періодів напіврозпадів ізоотопів  $^{232}\text{Th}$  та  $^{40}\text{K}$  є константою і дорівнює 11,66.

Вміст ізоотопу  $^{40}\text{K}$  у хімічному елементі калію є значно менший, ніж у попередніх ізоотопах і становить 0,017%. В цьому разі, для встановлення відношення кількостей

хімічних елементів торію та калію,  $\frac{N^{(Th)}}{N^{(K)}}$ , у досліджуваних зразках слід брати поправку на вміст ізоотопу  $^{40}\text{K}$  у чистому К, тоді

$$\frac{N^{(Th)}}{N^{(K)}} = \frac{N_{Th}}{N_{40K}} * 5882 \quad (3)$$

Зауважимо, що як правило в літературі приведено кларки через масовий вміст хімічних елементів у земній корі. Перехід же до відношень кількостей хімічних елементів по числу атомів потребує введення їх корекції (Див. [8]).

### Результати та їх обговорення.

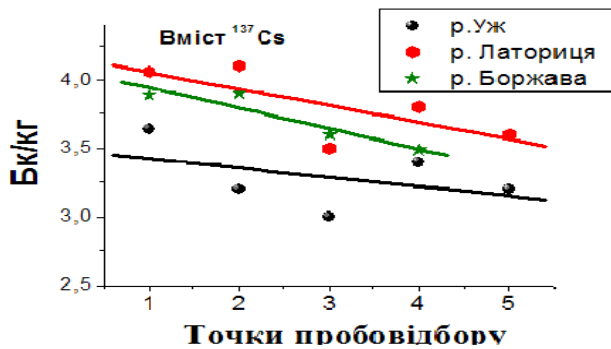
#### Радіоекологічний моніторинг гірських рік

Для радіоекологічного моніторингу гірських рік було здійснено 15 експедицій по басейнах трьох річок. Усього було підготовлено та досліджено, питомих вміст ГАН, 220 зразків намулів. Вперше отримано усереднені показники (стандарт) питомого вмісту ГАН природного та техногенного походження для басейнів рік Боржава, Латориця, Уж. Дослідження дозволяють запропонувати наступну оцінку кларкових відношень хімічних елементів по числу атомів для басейну р. Боржава як 1:7:9400 ат.%, р. Латориця – 1:4.5:7960 ат.% та р. Уж – 1:6.3:8300 ат.%. Результати показують геохімічні особливості басейну р. Боржава по вмісту калієвої компоненти (зменшення) у порівнянні із такими ж для рік Латориця та Уж, а також зменшення кларку торієвої, або ж збільшення уранової складової для намулів басейну р. Латориця. Це може бути обумовленим як відносною близькістю басейнів р. Латориці та р. Уж, так і їх меншою ізольованістю, ніж басейну р. Боржава. Наявність таких закономірностей говорить про перспективність використання радіаційних вимірювань для оцінки геохімічних показників досліджуваних територій. Результати, приведені на Рис. 2., демонструють просторові тенденції поширення ГАН вздовж русел гірських рік:

Рис. 2а ілюструє тенденції до зменшення концентрації техногенного  $^{137}\text{Cs}$  в донних відкладеннях всіх досліджуваних рік намулах при переході від високогірних до низинних ділянок їх русел. Тобто, джерелом техногенного  $^{137}\text{Cs}$  є високогірні

райони Карпат внаслідок взаємодії гір із повітряними потоками, що його переносили, проте статистична близькість точок пробовідбору для низинних ділянок є більшою, що може свідчити про нагромадження техногенного ГАН у низинних ділянках внаслідок його вимивання. Рис. 2б на прикладі р. Боржава

свідчить про порушення відношення уран/торієвої складової намулів із висотою русел, більшою акумуляцією уранової компоненти у низині, де течія ріки невисока. Він показує збільшення відношення кларкових уран/торієвих компонент –  $r$ , при переході від високогірних до низинних ділянок русла р. Боржава.



а)



б)

Рис. 2. а) – вміст  $^{137}\text{Cs}$  в намулах для різних точок пробо відбору у 3-х досліджуваних річках Закарпаття; б) – збагачення уранової компоненти намулів вздовж русла р. Боржава, тут  $N$  – номер точки пробо відбору,  $r$  – відношення питомих активностей ГАН уран/торієвих компонент намулів.

Тут,  $r = A_{\text{Bi}214} / A_{\text{Pb}212}$ , де  $A_{\text{Bi}214}$ ,  $A_{\text{Pb}212}$  питомі активності, відповідно, ізотопів - міток уран / торієвих вкладів.

Зауважимо, що такі ж тенденції справедливі для рік Латориця та Уж [9]. Це пояснюється більшою мобільністю хімічних елементів уранового ряду та їх здатність до вимивання.

### Радіоекологічні стандарти радіаційної погоди досліджуваних заповідних територій Закарпаття

Закономірності поширення і розподілу радіонуклідів, що визначають показники радіаційної погоди досліджувався на моделі ґрунтових профілів чотирьох природоохоронних заповідних територій: національно-природний парк (НПП) «Зачарований край», НПП «Ужанський», водно-болотне угіддя (ВБУ) «Чорне Багно» та Іхтіологічний заказник «Ріка». Проби ґрунту, як зразки заповідних територій, відбиралися на поверхні, на глибині 20 см та на глибині понад 50 см, згідно ДСТУ [5, 6], вздовж гірських хребтів, хребет-долин.

Як і в попередньому випадку, будемо вважати, що ізотопи U і Th рядів, а також  $^{40}\text{K}$

та техногенний  $^{137}\text{Cs}$ , можуть служити маркерами досліджуваних природних територій. Для визначення активності  $^{238}\text{U}$  використовували гамма-лінії  $^{214}\text{Bi}$  (609,3 кеВ та 1120,3 кеВ) і  $^{214}\text{Pb}$  (295,2 кеВ та 351,9 кеВ). Для  $^{232}\text{Th}$  відповідно, –  $^{212}\text{Pb}$  (238,6 кеВ),  $^{212}\text{Bi}$  (727,3 кеВ) і  $^{228}\text{Ac}$  (338,3 кеВ та 911,2 кеВ).

Враховуючи те, що пробовідбори проводилися в горах на різній висоті, різних глибинах та з різним типом ґрунтів, експериментальні методики мали доповнюватися статистичними. Зручно ввести наступні позначення:  $i$  – кількість точок вибірки на досліджуваних ділянках,  $n$  – глибина ( $n=1,3$ , що відповідає поверхневому, середньому та глибинному ґрунту) та  $A$  – сорт ізотопу-мітки в ґрунтовому профілі. Предметом дослідження були питомі активності ізотопу  $A$ ,  $c_{i,n}(A)$  (Бк/кг) для точки вибірки в координатах ( $i, n$ ), а потім  $c_A(n)$  –  $c_A$ , усереднені по всіх  $i$ -зразках, взятих по глибині  $n$ , тоді:

$$c_A(n) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N c_{i,n}(A), \quad (4)$$

де  $c_A$ , усереднена активність по всіх зразках:

$$c_A = \frac{1}{3} \sum_{n=1}^3 c_A(n) \quad (5)$$

тут n номер ґрунтового профіля, із якого доставлявся контрольний зразок,  $n = 1, 3$ ,  $c_{i,n}(A)$ - питомі активності для i-вої точки пробовідбору, n-го ґрунтового горизонту.

В Табл. 1. представлено стандарти вмісту ГАН для НПП «Зачарований край», які відображають характер змін їх вмісту в залежності від номера ґрунтового горизонту. Аналіз даних Табл. 1 показує, що для  $^{40}\text{K}$  як природної мітки стандарт його вмісту, по гумусному профілю території НПП «Зачарований край», складає – 124,3 (Бк/кг). Для техногенного  $^{137}\text{Cs}$  маркера техногенної активності – 10,86 (Бк/кг). Крім того, в межах території даного природно-заповідного об'єкту, з глибиною пробовідбору – переважає торієва складова. Так, для  $^{212}\text{Pb}$  – 24,1 (Бк/кг), для  $^{214}\text{Bi}$  – 18,6 (Бк/кг).

Як і в попередньому випадку, при дослідженні намулів гірських рік, має зміст дослідити кореляційні залежності в ґрунтах, питомого вмісту уран-торієвих та калій-торієвих компонент.

Таблиця 1. Результати усереднених показників ГАН (стандарти) ґрунту гумусового профілю території НПП «Зачарований край»

Ґрунтовий профіль	Питома активність $^{40}\text{K}$ (Бк/кг)	Питома активність $^{137}\text{Cs}$ (Бк/кг)	Питома активність $^{214}\text{Bi}$ (Бк/кг)	Питома активність $^{212}\text{Pb}$ (Бк/кг)
0-20	136,4	20,8	21,4	23,9
20-50	121,9	6,1	18,4	23,6
> 50	114,5	5,7	16	24,7
Дисперсія	8,1	6,6	1,86	0,42
Стандарт	124,3	10,86	18,6	24,1

В разі наявності кореляції між їх значеннями у досліджуваних зразках існує можливість для встановлення кларкових співвідношень хімічних елементів, через значення питомих активностей радіонуклідів  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  рядів, а також  $^{40}\text{K}$ .

Такі результати, по даних дослідження території НПП «Зачарований край», приведено на Рис. 3. Тут а,б,в – ґрунтові профілі для поверхні, глибина 20 та  $\geq 50$  см.

Із Рис. 3. випливає, що при переході з верхнього перехідного шару (0 см) до нижнього ( $\geq 50$  см) статистичні кореляції для відношення U-Th зростають. Це зумовлено інертністю дифузії хімічних елементів у ґрунтах під дією гідродинамічних факторів середовища. Більше того, глибинні горизонти мають кращу кореляцію між вказаними компонентами ніж поверхневі.

Використавши формули (1)–(3), можна провести [9] оцінку кларків відношень кількостей хімічних елементів по числу атомів для НПП «Зачарований край»:

$$\text{U:Th:K} = 1:4.5:12500 \text{ ат. \%} \quad (6)$$

ВГУ «Чорне Багно». Аналіз даних Табл. 1. показує, що для маркера природного  $^{40}\text{K}$  стандарт вмісту по гумусному профілю території ВГУ «Чорне Багно» складає 129,8 (Бк/кг).

Так для  $^{212}\text{Pb}$  – 26,6 (Бк/кг), для  $^{214}\text{Bi}$  становить 15,9 (Бк/кг). Застосовуючи статистичний аналіз (Рис. 4), бачимо, що ізотопи природних рядів і техногенного  $^{137}\text{Cs}$ , чітко групуються у різні кластери, причому вплив антропогенних факторів на них низький.

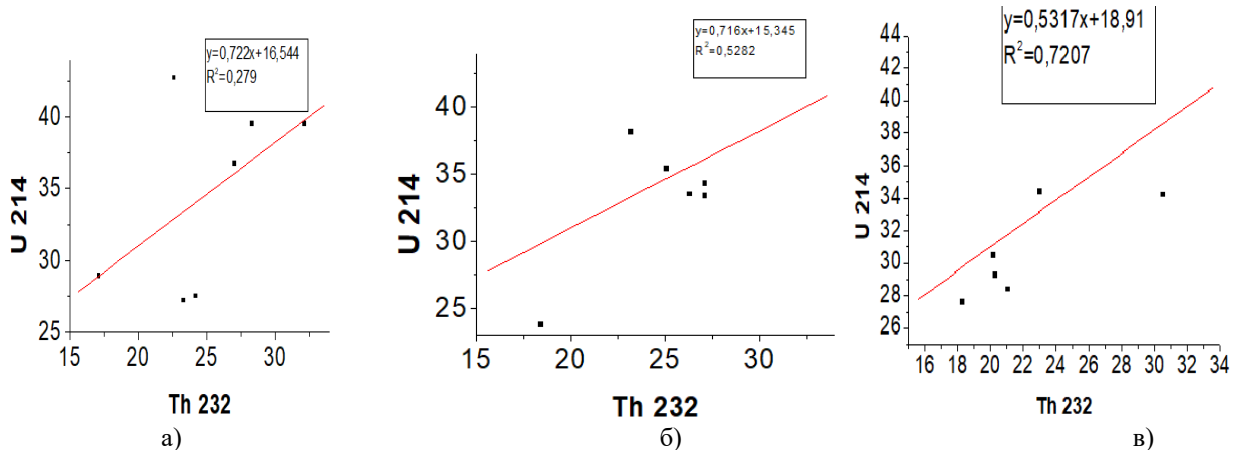


Рис. 3. Відношення U-T для заповідних територій – «Зачарований Край» – проби відбирались з глибини: а-(0 см); б-(20 см); в-( $\geq 50$  см).

Таблиця 2. Результати усереднених показників ГАН (стандарти) ґрунту гумусового профілю території ВГУ «Чорне Багно»

Ґрунтовий профіль	Питома активність <sup>40</sup> K (Бк/кг)	Питома активність <sup>137</sup> Cs (Бк/кг)	Питома активність <sup>214</sup> Bi (Бк/кг)	Питома активність <sup>212</sup> Pb (Бк/кг)
0-20	121,9	10,6	14,7	27,9
20-50	139,5	7,4	17,9	25,4
> 50	128	3,4	15,2	26,5
Дисперсія	<b>6,46</b>	<b>2,49</b>	<b>1,31</b>	<b>0,87</b>
Стандарт	<b>129,8</b>	<b>7,13</b>	<b>15,9</b>	<b>26,6</b>

Для техногенного <sup>137</sup>Cs – 7,13(Бк/кг). Крім того, в межах території даного природно-заповідного об'єкту з глибиною пробовідбору переважає торієва складова.

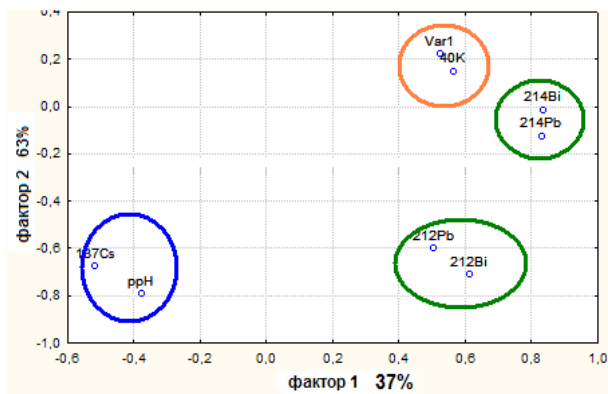


Рис. 4. Статистичні закономірності ВГУ «Чорне Багно»

Кларковий вміст відношення U/Th/K для ВГУ «Чорне Багно» становить:

$$U:Th:K = 1:3,7:9600 \text{ ат. \%} \quad (7)$$

Іхтіологічний заказник «Ріка».

Позиціонування вказаної заповідної території, представлено на Рис. 5, результати дослідження вмістів ГАН по горизонтах ґрунтів, приведено в Табл. 3.

Аналіз даних Табл. 3. показує, що для маркера природного <sup>40</sup>K, стандарт вмісту по

гумусному профілю території Іхтіологічного заказника «Ріка», складає – 244,3 (Бк/кг). Для техногенного <sup>137</sup>Cs – 9,1 (Бк/кг). В межах території даного природно-заповідного об'єкту, із збільшенням глибини пробовідбору, переважає торієва складова. Так для <sup>212</sup>Pb – 24,1 (Бк/кг), для <sup>214</sup>Bi – 15,9 (Бк/кг), відповідно.



Рис. 5. Ділянки відбору проб ґрунтів (●) Іхтіологічний заказник «Ріка»

Таблиця 3. Результати усереднених показників ГАН (стандарти) ґрунту гумусового профілю території Іхтіологічного заказника «Ріка»

Ґрунтовий профіль	Питома активність <sup>40</sup> K (Бк/кг)	Питома активність <sup>137</sup> Cs (Бк/кг)	Питома активність <sup>214</sup> Bi (Бк/кг)	Питома активність <sup>212</sup> Pb (Бк/кг)
0-20	207,6	17,5	19,2	24,5
20-50	260,9	5,8	21,6	24,6
> 50	264,4	4	24,8	23,3
Дисперсія	<b>24,4</b>	<b>5,6</b>	<b>1,95</b>	<b>0,55</b>
Стандарт	<b>244,3</b>	<b>9,1</b>	<b>21,8</b>	<b>24,1</b>

Кларковий вміст відношення U/Th/K для Іхтіологічного заказника «Ріка» становить:

$$U:Th:K = 1:3,2:8700 \text{ ат. \%} \quad (8)$$

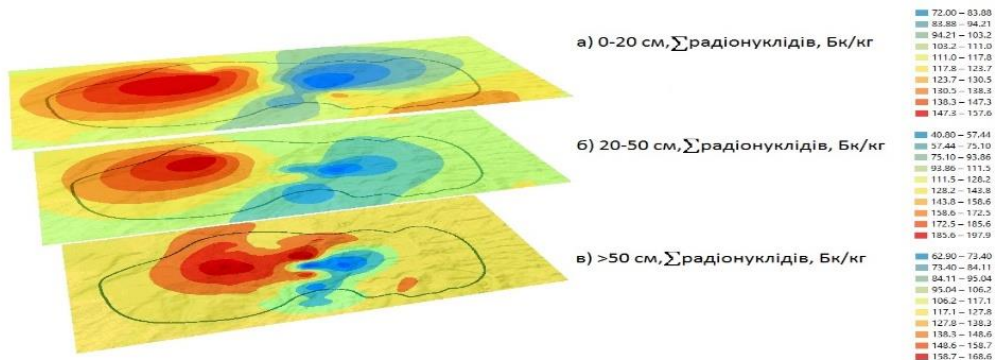


Рис. 6. Приклад радіаційного картографування ділянки НП «Зачарований край» по вмісту ГАН природних рядів.

Аналіз даних Рис. 6. показує, що розподіл ГАН в ґрунтових профілях ділянки пробовідбору ЗТ «Зачарований край» є нерівномірним і спостерігається зміщення акумуляції ГАН, при переході від нижнього перехідного профілю (горизонт > 50 см), до гумусового профілю (горизонт 0-20 см) на північний захід.

Дані картографування вмісту ізотопів U/Th ( $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Bi}$ ), дають можливість [10] робити оцінки поширення  $^{222}\text{Ra}$  та  $^{220}\text{Ra}$  у зразках ґрунтів, досліджуваних територій.

### Висновки

У результаті проведених досліджень встановлено просторові та сезонні закономірності поширення ГАН природного та техногенного походження у намулах гірських рік, а також поширення ГАН по ґрунтових горизонтах заповідних територій Закарпаття.

Результати досліджень дозволили отримати бази даних стандартів вмісту ГАН природного і техногенного походження для низки заповідних територій Закарпаття, що важливо для подальшого радіаційного картографування територій. Встановлено також природне збагачення кларкових

компонент урану на фоні компоненти торію, вздовж русел гірських рік та внаслідок міграції ГАН по глибині ґрунтів заповідних територій. Показано, що відношення цих ізотопів може бути використано як для встановлення параметрів «радіаційної погоди», так і для «радіаційної ідентифікації довкілля». Такі дані дозволили встановити, що джерелом поширення техногенних ГАН вздовж русел гірських рік є високігірні ділянки Карпат. Вперше проведена оцінка геохімічних компонент ізольованих районів заповідних територій Закарпаття по даних радіоізотопних досліджень.

Запропоновано методику оцінки поширення радону/торону на основі даних радіаційного картографування гірської території Карпат.

Отримані дані, по радіологічній ідентифікації довкілля, можуть скласти основу радіаційного картографування довкілля, яка має важливе значення для встановлення якості території проживання населення. Показано, що радіаційне картографування є достатньою умовою для оцінки поширення радіоактивного газу радону/торону та контролю екологічного стану території.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вернадский В.И. О радиоактивных химических элементах в земной коре. *Практическая медицина*. 1915. № 10–11. С. 143–195.
2. Maslyuk V., Kovacs T. The mapping of environmental radioactivity and new perspectives for ecology studies V. Terrestrial radioisotopes in environment. *International Conference on Environmental Protection*. Doi 10.18428/TREICER-2016, P.58.
3. 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. Stetc / American Institute of Physics Conference Proceedings; 1/5/2010, Vol. 1204. Issue 1, 2010. P. 263-265.
4. 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]. М. : Госкомитет СССР по стандартам, 1981. 6 с.
5. Якість ґрунту. Відбір проб: ДСТУ 4287:2004. [Чинний від 01.07.2005.]. К., Держспоживстандарт України, 2005. 10 с.
6. Якість ґрунту. Відбір проб: ДСТУ ISO 10381-1 – 10381-4:2004. [Чинний від 01.04.2006 та 01.09.2007]. К.: Держспоживстандарт України, 2006. 5 с.
7. Вальтер А.А., Дикий М.П., Довбня А.М. та ін. Мінералогія урану та радіоактивна нерівноважність руд родовищ альбітитої формації Українського щита. *Записки Укр. мінералог. тов-ва*. 2008. 5. С. 44–54.
8. Алексеенко В.А., Алексеенко А.В. Химические элементы в геохимических



системах. Кларки почв серитебных ландшафтов. Ростов-на-Дону : Из-во Южного федерального университета, 2013. 382 с.

9. Maslyuk V., Svatyuk N., Stets M., Frontasyeva M., Parlag O. (2012). Statistical regularities in the distribution of radionuclides in sediments of

Transcarpathia mountain rivers. *Journal of Environmental Radioactivity*. Doi:10.1016/j.jenvrad.2012.04.016.

10. Thenatural radioactivity of the Carpathian national parks and radon evaluation / Maslyuk V., Symkanich O., Svatyuk N., Parlag O., Sukharev S. *Nukleonika*. 2016. 61(3). P. 351 – 356.

Стаття надійшла до редакції 04.11.2018 р.

Н.И. Сватюк<sup>1</sup>, В.Т. Маслюк<sup>1</sup>, О.И. Симканич<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт электронной физики НАН Украины, ул. Университетская, 21, 88017, Ужгород, Украина.

e-mail: [natashasim777@gmail.com](mailto:natashasim777@gmail.com)

<sup>2</sup>Ужгородский национальный университет, ул. Волошина, 54, 88000, Ужгород, Украина

## РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ, ПОНЯТИЯ: «РАДИАЦИОННАЯ ПОГОДА» И «РАДИАЦИОННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ СРЕДЫ»

Рассмотрены понятия и параметры "радиационной погоды" и "радиационной идентификации окружающей среды" для исследуемых территорий национально естественных парков (НЭП) «Ужанский», «Зачарованный край», водно-болотное угодье (ВБУ) «Черное Багно», Ихтиологический заказник «Рика», и 3-х рек Закарпатья: Уж, Латорица, Боржава. Полученная база стандартов содержания гамма-активных нуклидов ГАН естественного и техногенного происхождения с применением методики низкофоновой гамма-спектрометрии для ряда заповедных территорий Закарпатья. Установлено кларк содержание U/Th компоненты в образцах донных отложений и почв Закарпатья. Показана возможность оценки пространственного распространения радиоактивных изотопов радона/торона на основе данных радиационного картографирования горных территорий Карпат.

**Ключевые слова:** радиоэкология, или горных рек, почвы заповедников, стандарты содержания, аккумуляция, уран/ториевые кларки.

N.I. Svatyuk<sup>1</sup>, V.T. Maslyuk<sup>1</sup>, O.I. Symkanich<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Electronic Physics, NAS of Ukraine, st. University, 21, 88017, Uzhgorod, Ukraine

e-mail: [natashasim777@gmail.com](mailto:natashasim777@gmail.com)

<sup>2</sup>Uzhgorod National University, st. Voloshina, 54, 88000, Uzhgorod, Ukraine

## RADIOLOGICAL MONITORING, CONCEPT: "RADIATION WEATHER" AND "RADIATION IDENTIFICATION OF THE ENVIRONMENT"

**Background:** The new concepts and parameters of the "radiation weather" and "radiation identification of the environment" for the investigated territories of the national natural parks "Uzhansky", "Enchanted land", wetlands (Black Sea), "Black Bugo", Ichthyological the ticker "Rika", and 3 rivers of Transcarpathia: Uzh, Latoritsa, Borzhava are presented. The database both the natural and technogenic gamma-active nuclides (GAN) content in the soils and sediments from selected protected areas of Transcarpathia had been obtained by using the low-background gamma spectrometry. It can estimate the clark U/Th/K ratio in samples of bottom sediments and Transcarpathian soils as the important parameters of local "radiation

weather." The possibility of estimating the spatial radon/thoron radionuclide spread based on the radiation mapping of mountain territories of the Carpathians are discussed.

**Methods:** The studies were carried out by using high-resolution low-background gamma-spectrometry based on a cooling Ge detector and some requirements as background conditions, the mass of the studied samples and exposure time for identification of the investigated GAN. The processing of the results was carried out using correlation and statistical factor analysis for investigation the degree of proximity of sample points of different rivers and ground horizons and for the radiation mapping of the studied territories of the Carpathians.

**Results:** The results of the studies allowed obtaining a database of standards for the content of natural and technogenic GAN for some protected areas of Transcarpathia, which is essential as parameters of radiation weather and for radiation mapping. The natural enrichment of the clark components of uranium against the element of thorium, along with the riverbed and the same behavior on the depth of the soils of the protected areas was also established. It is shown that the ratio of these isotopes can be used both for setting parameters of radiation weather and for radiation identification of the environment. Such results allowed one to conclude the source of man-made GANs is the high-altitude areas of the Carpathians. For the first time an estimation of geochemical components of isolated areas of protected territories of Transcarpathia on the data of radioisotopic researches.

**Conclusions:** The obtained data on the radiological identification of the environment can form the basis of radiation mapping of the environment. These results are significant for establishing the radiation weather quality parameters for the living biota and in particular, humanity. It has been shown that these results are sufficient to evaluate the content of radon/thoron/potassium and their ratio, which is vital for determining the geochemical state of the territory.

**Keywords:** radioecology, radiation weather, mountain river, protected areas, radionuclides standards, uranium/thorium/potassium clarks.

**PACS NUMBER:** 34.80.DP, 34.80.GS

## REFERENCES

1. Vernadsky V.I. About radioactive chemical elements in the earth's crust. Practical medicine. 1915. No. 10-11. Pp. 143-195.
2. Maslyuk V., Kovacs T. The mapping of environmental radioactivity and new perspectives for ecology studies V. Terrestrial radioisotopes in environment. *International Conference on Environmental Protection*. Doi 10.18428/TREICEP-2016, P.58.
3. 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. Stetc / American Institute of Physics Conference Proceedings; 1/5/2010, Vol. 1204. Issue 1, 2010. P. 263-265.
4. Okhrana prirody. Gidrosfera. Obshhie trebovaniia k otboru prob donnykh otlozhenij vodnykh ob'ektov dlia analiza na zagraznionnost : GOST 17.1.5.01-80 [Введ. 01.01.81]. М., 1981. 6 s.
5. Yakist gruntu. Vidbir prob: DSTU 4287:2004. K., 2005. 10 s.
6. Yakist gruntu. Vidbir prob: DSTU ISO 10381-1 – 10381-4:2004. K., 2006. 5 s.
7. Valter A.A., Dikij M.P., Dovbnia A.M. ta in. Minerologia uranu ta radioaktyvna nerivnovazhnist rud rodovysh albitivoji formatsii Ukrainskoho shyta. *Zapysky Ukr. Minerolog. Tov-va*. 2008. 5. S. 44–54.
8. Alekseenko V.A., Alekseenko A.V. Khimicheskie elementy v geokhimicheskikh sistemakh. Klarki pochv seribetnykh landshaftov. Rostov-na-Donu, 2013. 382 s.
9. Maslyuk V., Svatiuk N., Stets M., Frontasyeva M., Parlag O. (2012). Statistical regularities in the distribution of radionuclides in sediments of Transcarpathia mountain rivers. *Journal of Environmental Radioactivity*. Doi:10.1016/j.jenvrad.2012.04.016.
10. The natural radioactivity of the Carpathian national parks and radon evaluation / Maslyuk V., Symkanich O., Svatiuk N., Parlag O., Sukharev S. *Nukleonika*. 2016. 61(3). P. 351 – 356.