

УДК 004.5, 537.5
PACS number(s): 29.20.D-, 29.27.Fh, 29.85.Ca

МЕТОДОЛОГІЯ РАДІОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЗА ДОННИМИ ВІДКЛАДЕННЯМИ РІЧК ЗАКАРПАТТЯ

О. Парлаг, Н. Симканич, В. Маслюк

*Інститут електронної фізики НАН України
вул. Університетська 21, 88000 Ужгород, Україна
e-mail: nuclear@email.uz.ua*

Обґрунтовано вибір та методи дослідження намулів річок Закарпаття з метою радіоекологічного моніторингу.

Ключові слова: радіоекологія, методика, гамма-спектрометрія, донні відкладення, ріки, радіонукліди, геохімія.

Відомо, що поверхневі водні ресурси Закарпаття є важливими для формування мікроклімату, якості проживання людей та землекористування всього Єврокарпатського регіону. Намули водних басейнів Карпат відображають особливості геохімічних показників територій, що прилягають до них, а також дають цінну інформацію про інтенсивність та характер господарської діяльності людини.

Донні відкладення гірських рік, їх хімічний, мікроелементний та радіонуклідний склад формуються під дією забруднення води, метеорологічних та сезонних чинників, унаслідок змиття ґрунтів їхніх берегів, тощо. Тому дані радіоекологічного моніторингу за донними відкладеннями річок та водоймищ можуть свідчити про ступінь їхнього забруднення. При таких забрудненнях важкі метали та гамма-активні нукліди (ГАН) можуть надходити в організм людини по біологічних ланцюжках або безпосередньо, якщо водоймище слугує для питного водопостачання. Тому важливим є організація систем моніторингу, що базується на обґрунтованні методології пробовідбирання зразків намулів рік, вибір об'єктів та методик їхнього дослідження.

В статті розглянемо методологічні основи низькофонові гамма-спектроскопії зразків намулів гірських рік для вивчення стану радіоактивної рівноваги ізотопів природних рядів урану-238 та торію-232, а також природного калію-40 та техногенного цезію-137 (нерівноважний ізотопний метод [1]). Певні ГАН можуть слугувати "мітками" не лише радіоактивного, але і техногенного забруднення та хіміко-геологічних особливостей будови регіону [2].

Намули є універсальним акумулюючим середовищем, мікроелементний склад якого формується під дією різних чинників факторів. На рис. 1 показано схему формування мікроелементного складу, де 1 – власний геохімічний склад намулів; 2 – хімічна активність ГАН; 3 – водозбір, що відображає техногенні та геохімічні чинники з найближчих територій, 4 – ці ж фактори з віддалених вгору за течією точок водозбору; 5 – поточні метеоумови як роза вітрів, частота та інтенсивність опадів, а також сезонні чинники. Роль цих факторів різна у формуванні намулів водоймищ озер, низинних та гірських рік. Наприклад, для озер та низинних рік особливо важливими є чинники 1, 2, 5, а для гірських рік – 3, 4, 5.

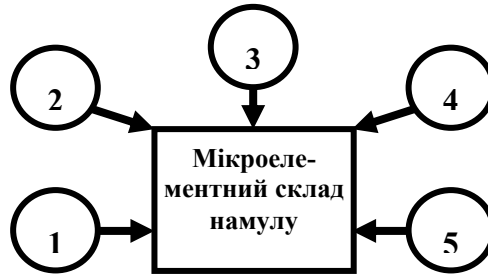


Рис. 1. Схема формування мікроелементного складу намулів

Методологія досліджень річних намулів полягає у забезпеченні інформативності вимірювань, що досягається вибором певної сукупності ГАН, оптимізацією сітки (частота, статистика) пробовідбирання, методикою підготовки зразків, забезпеченням умов та достовірності вимірювань. Кількість точок для моніторингу обмежується лише вартісними та часовими показниками, оскільки збільшення сітки пробовідбирання з достовірністю поліпшує інформативність моніторингу.

В основу запропонованих досліджень покладено метод низькофонової гамма-спектрометрії, який дає змогу ідентифікувати ГАН за характеристичними лініями ядерного випромінювання [2, 3]. Цей метод забезпечує високу інформативність внаслідок високої чутливості γ -спектрометра, можливості використання зразків великої маси, наявності для одного хімічного елемента низки ізотопів тощо. Предметом дослідження є питома активність у намулах ГАН низки урану-238 і торія-232 (рис. 2), а також вмісту в них природного К-40 та техногенного Cs-137.

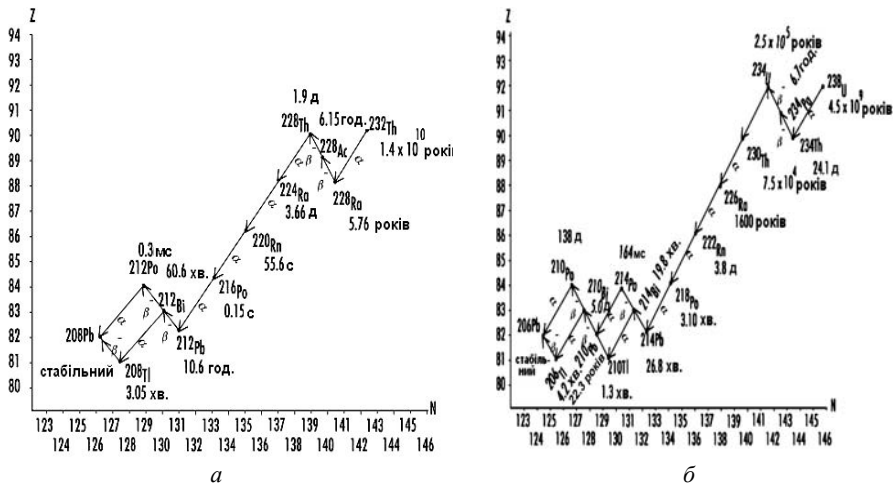


Рис. 2. Гамма-активні нукліди радіоактивних рядів Th-232 (а) та U-238 (б)

Цей склад ГАН є достатнім для характеристики як геохімічних, так і техногенних чинників гірських регіонів Карпат. В табл. 1 наведено ядерно-фізичні константи, за якими (енергія характеристичних гамма-ліній, їхня відносна інтенсивність тощо) можна судити про високу імовірність ідентифікації на експерименті ГАН ряду Th-232, - Pb-212, Ac-228, Tl-208, а для U-238, - Pb-214, Bi-214.

Виміри абсолютної активності проб донних відкладень проводили в низькофоновій лабораторії відділу фотоядерних процесів ІЕФ НАН України на гамма-спектрометричному комплексі з коаксіальним напівпровідниковим Ge(Li)-детектором, ефективний об'єм якого – 100 см³ [2].

Таблиця 1

Ядерно-фізичні константи гамма-активних нуклідів-міток радіоактивних рядів Th-232 та U-238, а також K-40, Cs-137 [4]

Радіоактивний ряд	²³⁸ U		²³² Th				⁴⁰ K	¹³⁷ Cs
	²¹⁴ Pb	²¹⁴ Bi	²²⁸ Ac	²¹² Pb	²¹² Bi	²⁰⁸ Tl		
Енергія γ-випромінювання	0,242 (4); 0,295	0,609 (47); 0,769	0,34 (15); 0,908	0,239 (47); 0,300	0,04 (2); 0,288	0,583 (86); 2,61	1,460 (11)	0,662 (85)
MeV (відн. інтенс. %)	(19); 0,352	(5); 0,935	(25); 0,96	(3,2)	(0,5)	(100)		
Період напіврозпаду	26,8 хв	19,9 хв	6,14 год	10,64 год	60,60 хв	3,05 хв	1,26× 10 ⁹ років	30 років

Детектор був у комбінованому захисті типу “будинка” з шарами міді 8 мм, алюмінію 3 мм, кадмію 1 мм та свинцю 95 мм, що дало змогу значно зменшити власний фон установки відносно фонових умов лабораторії. Для врахування самопоглинання та геометричних розмірів проб здійснювалося калібрування установки (одноканальний гамма-спектрометр “SBS-40”) еталонним об'ємним зразком, що поміщали в ту ж посудину Маринеллі, що і проби намулів. Дрейф, роздільна здатність (у нашому випадку для K-40 3,2 кеВ та для Cs-137 2,3 кеВ) контролювали постійно протягом часу вимірювань. На рис. 3 показано апаратурні спектри вимірювань фонових умов без та за наявності спеціального захисту. Видно, що послаблення фонового гамма-випромінювання в діапазоні енергій 0,5–1 МеВ зменшується від 10 до 30 разів. Проведена низка вимірів власного фону установки протягом тривалого часу (від 4-х до 30-ти годин) свідчить про його сталість, а для забезпечення достовірності даних вибрано час виміру одного зразка 5 000 с.

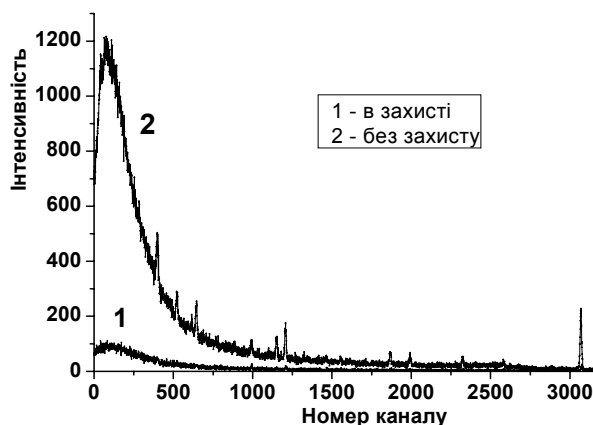


Рис. 3. Порівняння фонових умов (апаратні спектри) низькофонової установки за наявності (крива – 1) та відсутності (крива – 2) захисту

З метою вивчення впливу геохімічних та техногенних факторів на екосистему гірських регіонів Карпат запропонована така схема пробовідбирання для конкретної річки: першу точку варто обирати у верхів'ї річки, де вплив людини на екосистему найменший; інші точки варто вибирати нижче за течією річки де антропогенне навантаження збільшується за рахунок підвищення густини населення, кількості неочищених стічних вод, що відводяться в річку, зростання кількості неконтрольованих сміттєзвалищ вздовж берегів та зменшення лісистості. Відстань між точками пробовідбирання не має перевищувати 6–10 км. Це дає змогу визначити джерела та шляхи потрапляння радіонуклідів у донні відкладення цих річок.

Пробовідбір зразків мулової грязі річок вагою по 1 500–2 000 г здійснювався у фіксованих точках ручним методом з глибини 2–15 см з використанням драг. Проби упаковували, транспортували і зберігали згідно з ГОСТами 17.4.3.01–83 у поліетиленових пакетах, що містили пакувальний ярлик із зазначенням дати відбору, номера проби та інформацією про місце відбирання проб. Отримані зразки річкового намулу висушувалися за температури 130 °C у сушильній шафі до повітряно-сухого стану за ГОСТ 5180–84 і зберігали у поліетиленових пакетах. Після подрібнення з проб видалили сторонні рештки (корені рослин, каміння, скло, вугілля, кістки тварин тощо) і просівали через сито з діаметром отворів 1 мм для одержання однорідної маси. Підготовлені проби намулу масою 1–1,5 кг насипали у посудину Марінеллі для проведення їх радіоспектроскопічного аналізу.

З метою апробації методики радіоекологічних досліджень ми провели пробні вимірювання зразків намулів р. Боржава (Закарпаття). У точці пробовідбирання, координати якої визначалися за допомогою GPS-навігації, вибирали ділянку розміром 1x1 м², з вершин якої було взято чотири зразки, результати вимірювання яких показано на рис. 4. Видно, що має місце сталість показників питомої активності ГАН Рb-214, Bi-214 (ряд U-238), Рb-212 (ряд Th-232) та природного K-40, а вмісту Cs-137 не виявлено. Простежено розкид значень вимірювань для ГАН початку (Ac-228) та кінця (Tl-208) радіоактивного ряду Th-232, а відсутність у ньому Bi-212,

генетичного до Pb-212 цього ж ряду можна пояснити низькою інтенсивністю характеристичних ліній 0,04 та 0,288 кеВ, табл. 1.

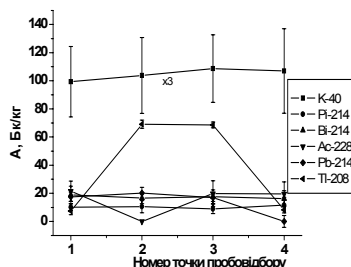


Рис. 4. Значення питомих активностей ГАН чотирьох зразків одного пробовідбору

Аналіз даних радіоекологічного експерименту потребує застосування методів математичної статистики. У математичному плані це завдання представляє багатофакторну модель, а встановлення зв'язку між чинниками потребує застосування методів багатомірного (кластерного) статистичного аналізу [5]. У табл. 2 показано матрицю кореляцій для вказаних чотирьох проб, побудована з урахуванням чотирьох параметрів-чинників, питомої активності ГАН Pb-214, Bi-214, Pb-212 та K-40. Високі значення парних кореляцій вмісту ГАН свідчать про можливість використання запропонованої методики вибору проб для радіоекологічного моніторингу басейну гірських річок.

Таблиця 2

Матриця кореляцій чотирьох зразків, взятих унаслідок одного пробовідбирання

	Проба 1	Проба 2	Проба 3	Проба 4
Проба 1	1	0,97	0,979	0,99
Проба 2	0,97	1	0,997	0,97
Проба 3	0,97	0,99	1	0,98
Проба 4	0,99	0,97	0,981	1

Отже, достовірність радіоекологічного моніторингу басейну гірських річок Карпат за їхніми намулами може забезпечуватися комплексом чинників, а саме – вибором досліджуваних ГАН, умовами (частота, кількість) пробовідбору, підготовки зразків, низько фонового експерименту та застосуванням методів багатомірної статистичної обробки отриманих даних. Автори вдячні М. В. Фронтас'євій та М.В. Стецеві за консультації під час виконання роботи.

1. *Титарева Н.А.* Геохимия изотопов радиоактивных элементов (U, Th, Ra) // <http://geo.web.ru/db/disser/view.html/mid=1171496>
2. *Симканич Н.І., Стець М.В., Цукун Т.В., Чубар С.І.* Застосування методів кластерного аналізу для систематизації радіоекологічних показників ґрунтів карпатського регіону // *Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. Серія фіз.* 2007. С. 173–176.

3. *Грабовський В., Дзензелюк О., Дуцяк Г.* Визначення вмісту в окремих випадках рослин та грибів Шацького національного природного парку (Волинська область) // Вісн. Львів. ун-ту. Серія фіз. 2003. Вип. 36. С.30–33.
4. *Физические величины. Справочник под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова.* М.: Энергоатомиздат, 1991. 1232 с.
5. *Янковой А.Г.* Многомерный анализ в системе STATISTICA. О.: Optimum, 2001. Вып. 1. 212 с.

METHODOLOGY OF RADIOECOLOGICAL MONITORING BY SEDIMENTATIONS OF THE TRANSCARPATHIAN RIVERS

O. Parlag, N. Symkanych, V. Maslyuk

*Institute of Electron Physics, Ukr. Nat. Acad. Sci.
Universytetska Str., 21, 88000 Uzhhorod
e-mail: nuclear@email.uz.ua*

The choice of the Transcarpathian rivers bottom sediment sampling and methods of their investigation for the radioecology monitoring are proved.

Key words: radioecology, methodology, gamma-spectrometry, river sediments, radionuclide, geochemistry.

МЕТОДОЛОГІЯ РАДІОЕКОЛОГІЧЕСЬКОГО МОНІТОРИНГА ЗА ДОННИМИ ОТЛОЖЕННЯМИ РЕК ЗАКАРПАТТЯ

О. Парлаг, Н. Сымканич, В. Маслюк

*Институт электронной физики НАН Украины
ул. Университетская, 21, 88000 Ужгород
e-mail: nuclear@email.uz.ua*

Обоснованно выбор и методы исследования наносов рек Закарпатья для целей радиоэкологического мониторинга.

Ключевые слова: радиоэкология, методика, гамма-спектрометрия, донные отложения, реки, радионуклиды, геохимия.

Стаття надійшла до редколегії 06.11.2008

Прийнята до друку 20.07.2009