

УДК:502/504

¹Симканич О.І. к.х.н., доц.; ¹Кохан О.П. к.х.н., доц.; ¹Глух О.С. к.х.н., доц.; ¹Крч К.Л. к.б.н., доц.; ¹Литвин О.В. ст. викл.; ²Святюк Н.І. к.т.н., с.н.с.;
³Буцяк І.В. д.с.-г.н., проф.

МОДЕЛЮВАННЯ МІГРАЦІЇ РАДІОНУКЛІДІВ У ДОННИХ ВІДКЛАДАХ ВИТОКУ РІЧКИ БІЛА ТИСА

¹Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет»,
88000, м. Ужгород, вул. Підгірна, 46

²Інститут електронної фізики Національної академії наук України,
880016, м. Ужгород, вул. Університетська, 21

³Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені
С. З. Гжицького, м. Львів, вул. Пекарська, 50
e-mail: olesia.symkanych@uzhnu.edu.ua

Встановлені закономірності розподілу, міграції та акумуляції природних гамма-активних нуклідів ⁴⁰K, рядів урану ²³⁸U (²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi) і торію ²³²Th (²¹²Pb, ²¹²Bi, ²²⁸Ac, ²⁰⁸Tl), а також техногенного ¹³⁷Cs у седиментах притоки р. Тиси (Біла Тиса), Закарпатської області. Показано, що сумарний вміст досліджуваних радіонуклідів у донних відкладах за всією протяжністю р. Тиси відрізняється незначно і пропорційний рівню її замулювання, що в значній мірі залежить від багатьох факторів, зокрема, інтенсивності процесів обміну радіонуклідів між ґрунтами і водними ресурсами, вмісту води, органічних речовин та морфологічних особливостей річки. Встановлено, що сумарна питома активність природних гамма-активних радіонуклідів (без урахування ⁴⁰K) у седиментах коливається у межах 195,5-293,9 Бк/кг. Найвищий вміст даних ізотопів визначено у точці злиття Білої та Чорної Тиси. Проведення картування досліджених територій за вмістом ⁴⁰K та ¹³⁷Cs показало, що зона акумуляції даних гамма-активних нуклідів зосереджена у нижній частині річки (точка злиття Білої та Чорної Тиси), обґрунтовано ймовірні причини цього явища. Аналіз оцінки ступеня зв'язку між вмістом радіонуклідів (рядів ²³⁸U і ²³²Th, ⁴⁰K та ¹³⁷Cs) у залежності від територіального фактору демонструє, що для більшості гамма-активних нуклідів спостерігається зональність їх розподілу у донних відкладах витоку річки.

Ключові слова: радіонукліди; гамма-активні нукліди; радіоекологічний моніторинг; донні відклади; міграція; акумуляція; вміст Cs/K; р. Тиса.

Удосконалення системи моніторингу оточуючого середовища для покращення екологічного стану – першочергова задача як суспільства, так і вчених. Радіоекологічні моніторингові дослідження доквілля є важливим знаряддям вчасного попередження їх шкідливого впливу на живі організми та результативного управління якістю навколишнього середовища [1].

Концептуальним і проблемним є вивчення процесів поведінки радіонуклідів у доквіллі, особливо у водному середовищі, а саме з'ясування закономірностей міграційних механізмів у різних її елементах.

Для екологічної оцінки водних екосистем одним з об'єктів дослідження можуть бути донні відклади, які акумулюють (маючи велику сорбційну здатність) та транспортують (внаслідок водообміну і дренажу) частину радіонуклідів в основні русла рік у межах географічного району за течією річки [2]. Отже, результати хімічного та радіоекологічного моніторингу донних відкладів річок і водойм не лише свідчать про ступінь забруднення водних ресурсів, але й надають інформацію про екологічний стан значних прилеглих територій [3-5].

У донних відкладах постійно депонуються радіонукліди та інші специфічні забруднюючі речовини, що, очевидно, можуть бути викликані комплексним впливом антропогенного та техногенного характеру, які протягом певного періоду потрапляють у водні об'єкти [6]. Важливо відзначити, що міграція гамма-активних нуклідів у водних екосистемах обумовлюються складним взаємопов'язаним впливом гідрологічних та фізико-хімічних процесів [7]. Таким чином, дослідження особливостей накопичення радіонуклідів у різних об'єктах навколишнього середовища, зокрема, донних відкладах, дозволяє розкрити вплив природних та техногенних процесів, оцінити радіоекологічний стан району та прогнозувати поведінку цих компонентів у довкіллі.

Для більш ефективного контролю над забрудненням довкілля та здатності моделювати й передбачати різні процеси та зміни в досліджуваній системі, важливо використовувати сучасні інформаційні технології. На сьогоднішній день застосування таких технологій для створення, аналізу та інтерпретації тематичних карт стало повсякденною потребою та інструментом для науковців при обробці екологічних даних. Особливу увагу варто приділити геоінформаційним системам (ГІС), які дозволяють аналізувати значний обсяг географічних даних, створювати геопросторові моделі, та допомагають визначити джерела забруднення і розміри забруднених ділянок геологічного середовища. Крім того, геоінформаційні системи, зокрема програма ArcGIS [8-10]

легко інтегрується з іншими науковими інструментами і джерелами даних, що сприяє комплексному підходу до дослідження з метою розробки необхідних заходів щодо охорони природи, що є вельми важливим для системи екологічного моніторингу.

Авторами цієї роботи були виконані радіоекологічні дослідження вмісту гамма-активних нуклідів української частини басейну р. Тиса та проведено картування території, де здійснювався відбір проб.

Матеріали та методи досліджень

Об'єктом даного дослідження є радіоекологічний моніторинг р. Тиса (Біла Тиса). З огляду на територіальне розміщення (транскордонне розташування) р. Тиси, такі дослідження є актуальними, оскільки дозволяють виявити, як джерела забруднення річки на території України, так і зворотній зв'язок щодо можливості транскордонного переносу забруднювальних речовин на територію Закарпаття.

Відбір зразків донних відкладів р. Тиса проводився з глибини до 15 см за використанням драг у фіксованих точках річки (села Богдан, Видричка, Розтоки та точка відбору у місці злиття річок Чорної та Білої Тиси). Вага однієї досліджуваної проби становила від 1500 до 2000 г. Підготовка до аналізу, транспортування, та зберігання здійснювалось у відповідності з діючими нормативами [11]. Донні відклади р. Тиса досліджували щоквартально впродовж 2021 року з урахуванням ландшафтних та гідрологічних особливостей у фіксованих точках населених пунктів (Рис.1, Табл. 1).

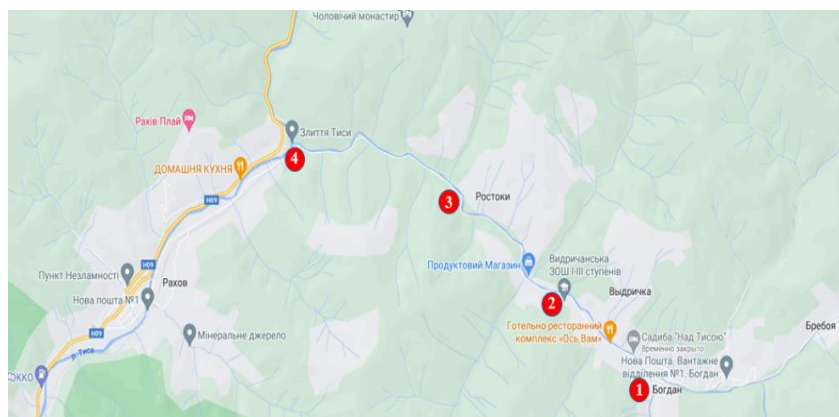


Рис. 1. Положення точок пробовідбору намулів, 1 – 4, вздовж витоків річки Тиса (Україна – Закарпатська область).

Схема, яка була вибрана для пробовідбору донних відкладів притоки р. Тиса (Рис. 1) дає можливість оцінити, як міграційні процеси радіонуклідів вздовж русла річки, так і виявити основні зони акумуляції радіонуклідів у її межах, що є важливим при проведенні моделювання і прогнозування стану досліджуваної та прилеглих територій. Перед проведенням радіологічного дослідження, підготовлені зразки донних відкладів поміщали у герметичні ємності (до трьох тижнів), для забезпечення умов рівноваги радіонуклідів

рядів ^{238}U (^{214}Pb , ^{214}Bi) і ^{232}Th (^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{228}Ac , ^{208}Tl). Утворені ізотопи відзначаються коротким періодом напіврозпаду, розпад яких супроводжується гамма випромінюванням, що вимірюється під час аналізу.

Картування досліджуваних територій за вмістом радіонуклідів у донних відкладах проводили використовуючи комп'ютерну програму «ArcGIS 10.2.1» з прив'язкою до GPS-координат [12].

Таблиця 1. Досліджувані населені пункти, де проводили відбір проб донних відкладів

| Точки пробовідбору | Назва регіону | GPS- координати |
|--------------------|-----------------------------|---------------------------|
| №1 | с. Богдан | 48°02'75.3"N 24°19'86.2"E |
| №2 | с. Видричка | 48°03'54.0"N 24°18'41.9"E |
| №3 | с. Розтоки | 48°06'72.2"N 24°29'07.0"E |
| №4 | Злиття Білої та Чорної Тиси | 48°04'46.9"N 29°14'63.9"E |

Використання та застосування (ГІС), ArcGIS для аналізу радіоекологічних процесів на досліджуваних територіях дозволить ефективно обробити великі обсяги інформації, необхідної для вирішення проблем, пов'язаних з реабілітацією забруднених територій.

Доступ до функцій пакету ArcGIS здійснюється за допомогою графічного інтерфейсу, набір інструментів якого залежить від програмного модулю [13]. Для проведення аналізу був використаний модуль ArcMap версії 10.2.1. [13]. Вхідні дані для модулю ArcMap подавались у доступному табличному форматі.

Результати досліджень

Радіоекологічний моніторинг проводився за природними гамма-активними нуклідами (ГАН) ^{40}K , рядів ^{238}U і ^{232}Th , а також техногенного ^{137}Cs методом низькофонові гамма-спектрометрії. Дослідження виконували у 2021 році. Об'єктами вивчення були донні відклади витоку річки Тиса. Важливо відмітити – донні відклади річок виступають, як важливий резервуар для накопичення та утримання радіонуклідів, що відповідає низці фундаментальних задач:

1. Виявлення джерел забруднення.

Дослідженням донних відкладів річок можна визначити джерела та обсяги радіоактивного забруднення, що є критично важливим для ефективного управління та зменшення забруднення.

2. Моніторинг екосистем. Донні відклади відіграють центральну роль у циклі радіонуклідів, а вивчення їх радіоекологічного стану дозволяє оцінювати вплив забруднення на водні екосистеми.

3. Оцінка ризику для здоров'я людини. Вміст радіонуклідів у донних відкладах може впливати на якість води для споживання та навколишнє середовище, що вимагає оцінки ризику для здоров'я людини.

4. Розробка стратегій охорони навколишнього середовища. Дослідження донних відкладів річок необхідне для створення та виконання заходів охорони навколишнього середовища, спрямованих на зниження радіаційного забруднення та підвищення екологічної безпеки.

Всі ці фактори підкреслюють доцільність радіоекологічних досліджень донних відкладів річок, як необхідного кроку у збереженні довкілля та забезпечення екологічної безпеки.

Для зручності представлення великого масиву даних у роботі приведено середні значення вмісту природних гамма-активних нуклідів рядів ^{238}U і ^{232}Th , ^{40}K , а також техногенного ^{137}Cs у седиментах.

Проведені дослідження показали, що основний внесок у питому активність ГАН у донних відкладах витоку р. Тиси вносить ^{40}K ,

вміст якого коливається в межах 525,5-596 Бк/кг. Це є очікувано і може бути зумовлено тим, що середній вміст Калію у земній корі є значним [14].

На Рис. 2 представлено дані картографування розподілу даного ізотопу у донних відкладах.

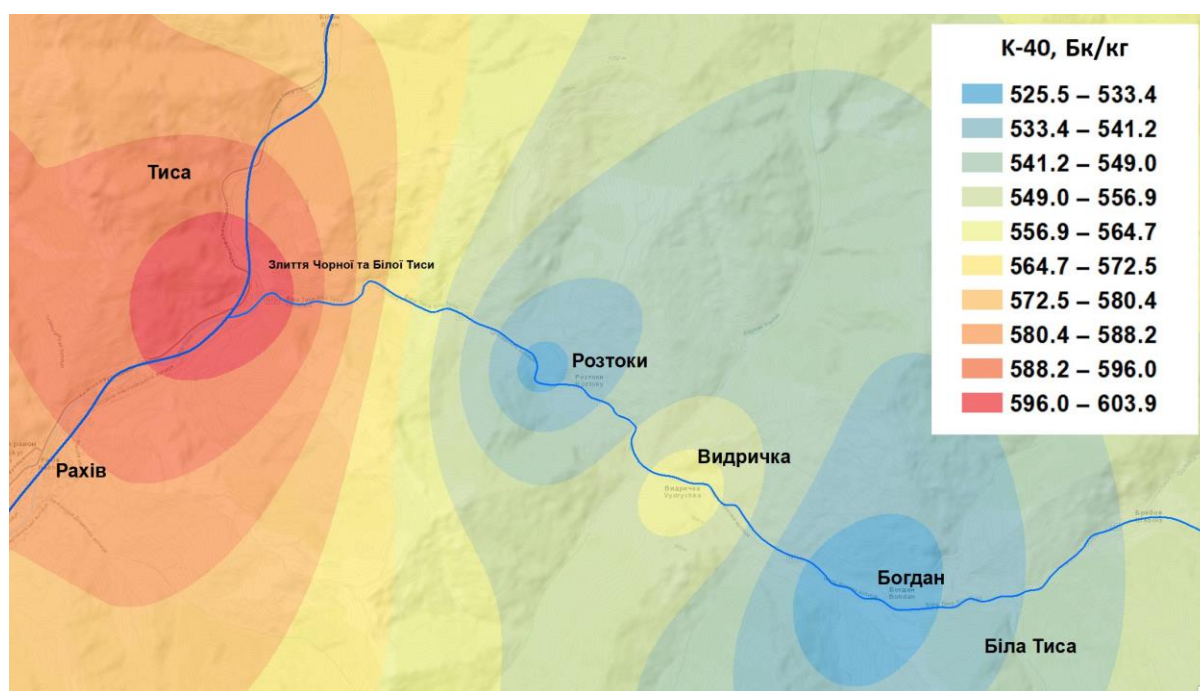


Рис. 2. Карта розподілу сумарної питомої активності ^{40}K у донних відкладах вздовж витоку річки Тиса.

Встановлено, що зона акумуляції ^{40}K для донних відкладів №4 (Злиття Білої та Чорної Тиси) є найбільш інтенсивною – 596 - 603 Бк/кг у порівнянні з № 1-3 (села Богдан, Видричка, Розтоки) (525 - 572 Бк/кг). Очевидно, це зумовлено, як різким зломом річки (уповільненням течії) і як наслідок більшим її замулюванням, так і високою рухливістю калію у довір'ї [14].

Питома активність техногенного ^{137}Cs , який виник внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС у 1986 році – у досліджуваних ділянках коливається в межах 1,56-4,60 Бк/кг. Порівняння радіоекологічного стану донних відкладів витоку р. Тиса за вмістом ^{137}Cs та ^{40}K (Рис. 3) має подібну тенденцію розподілу. У донних відкладах витоку р. Тиса, як і у випадку з розподілом сумарної питомої активності ^{40}K , зона акумуляції ^{137}Cs є більш виражена у №1. Даний розподіл, очевидно, зумовлений

зональним надходженням даного радіонукліда дощовими та вітровими потоками з прилеглих територій та більшою його акумуляцією у зоні перетину Білої та Чорної Тиси, де можливе більше замулювання у зв'язку з різкою зміною напрямку течії Білої Тиси. Слід відзначити, що одержані нами значення питомої активності ^{137}Cs є близькі з даними за вмістом даного радіонукліда для р. Тиса отримані авторами [2]. У роботі [2] показано, що у ділянках з морфологічними змінами р. Тиса також спостерігається більш виражена акумуляція ^{137}Cs , і найвищі значення вмісту даного радіонукліду у донних відкладах р. Тиса складає 4-8,90 Бк/кг. Наявність даних зон акумуляції ГАН у донних відкладах річок гірського ландшафту є небажаним явищем, і такі зони слід враховувати при використанні цих річок.

Концентрація ж сумарної питомої активності ^{232}Th , ^{238}U (без урахування ^{40}K) у досліджуваних зразках демонструє зміни між зразками досліджуваних точок пробовідбору. Встановлено, що у пробі №4 сумарний питомий вміст ізотопів є вище (293,9 Бк/кг),

ніж у пробах №1 (272,4 Бк/кг), №2 (238,6 Бк/кг), №3 (195,5 Бк/кг), що свідчить про певні нівелюючі властивості донних відкладів (володіють певною буферною ємністю щодо міграції ГАН).

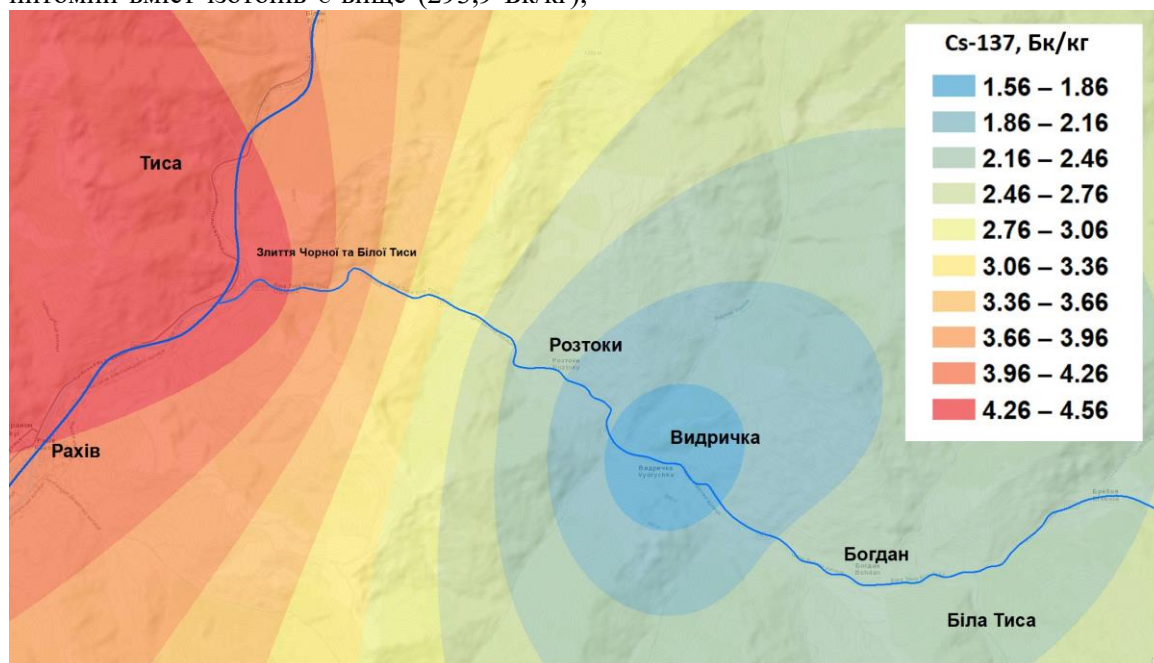


Рис. 3. Карта розподілу сумарної питомої активності ^{137}Cs у донних відкладах вздовж витoki річки Тиса.

Для оцінки ступеня зв'язку між вмістом даних радіонуклідів (рядів ^{238}U і ^{232}Th , ^{40}K та ^{137}Cs) у залежності від територіального фактору, нами було проведено статистичний метод аналізу, що дозволяє прогнозувати поведінку цих компонентів у довкіллі. Результати факторного та кластерного аналізу гамма-активних нуклідів представлено на Рис. 4,5.

Аналіз даних Рис. 4 демонструє, що для більшості ГАН спостерігається зональність їх розподілу у донних відкладах витoku річки Тиса за течією, що може бути зумовлено, як складом мулу, інтенсивністю процесів обміну радіонуклідів між ґрунтами і водними ресурсами, особливістю замулювання ділянок так і морфологічними особливостями річки та ерозійних процесів [13-14].

Встановлено (Рис. 4), що ступінь близькості між природними радіоактивними рядами U/Th є досить значна, причому на кореляцію між природними рядами техногенна складова ^{137}Cs не вносить вкладу. При проведенні досліджень, слід також врахувати, що у відкритій системі, якими є

донні відклади, радіоактивна рівновага може бути порушена в результаті вимивання водою, механічного переміщення чи хімічної реакції атомів одних членів ряду відносно інших [14].

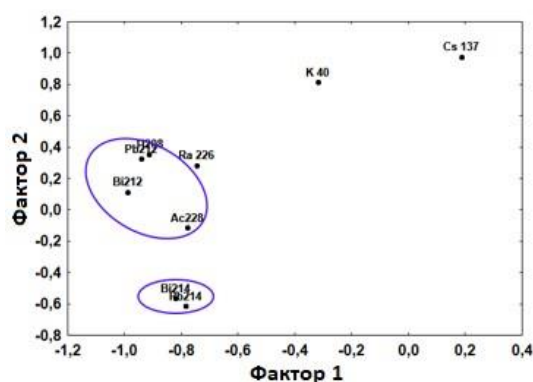


Рис. 4. Результати факторного аналізу природних ГАН рядів ^{238}U і ^{232}Th , ^{40}K і штучного ізотопу ^{137}Cs у донних відкладах витoku р. Тиса.

Результати кластерного аналізу даного дослідження, що використовується для групування точок відбору проб седиментів

відповідно до їх подібності та відмінності, які виникають в результаті експериментальних даних представлені на Рис. 5.

Встановлено, що існує виражений територіальний розподіл ГАН у донних відкладах, причому найбільш виражена кореляція спостерігається для проб №1 та №2, а найменш – для №4 (найбільший ступінь замулювання). Важливо відмітити, що геоморфологічні особливості басейну витоку р. Тиса можуть відрізнятися, що також може впливати на розподіл ГАН за течією.

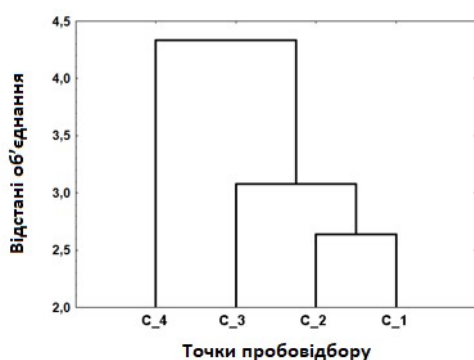


Рис. 5. Результати кластерного аналізу ГАН для встановлення степеню статистичної близькості точок пробовідбору для р. Тиса (Біла Тиса).

Проведення такого роду досліджень є важливим, оскільки вони дозволяють виявляти, прогнозувати та контролювати будь які радіоактивні аварії чи події, що можуть впливати на безпеку людини.

Висновки

Таким чином, отримані результати показують певні особливості розподілу, міграції та акумуляції гамма-активних нуклідів у донних відкладах витоку р. Тиса (Біла Тиса).

Картування досліджуваних територій донних відкладів грає ключову роль у розумінні та управлінні радіоекологічними процесами. Зокрема, дає можливість встановлення ділянок акумуляції ізотопів у седиментах річки, а також ділянки з найменшим вмістом цих інгредієнтів, що дозволяє робити прогноз майбутнього стану територій, і є одним з головних аспектів системи екологічної безпеки. Визначено, що для витоку р. Тиса (Біла Тиса), зони

акумуляції радіонуклідів (сумарна активність ГАН, ^{40}K та ^{137}Cs) є найбільш виражена у ділянках зміни морфології річки №4, що потрібно враховувати при дослідженні даної річки.

Результати кластерного аналізу показали, що найбільш виражена кореляція спостерігається для №1 та №2, а найменш – для №4.

Дані дослідження важливі для розробки та оновлення нормативної бази у сфері радіаційної безпеки.

Список використаних джерел

1. Попов О.О. Концептуально-методологічні аспекти моделювання впливу об'єктів атомної енергетики на довкілля. *Моделювання та інформаційні технології*. 2013, 70, 10–19.
2. Symkanich O.I., Svatiuk N.I., Maslyuk V.T., Glukh O.S., Sukharev S.N., Sherehiy A.A. Radioecology monitoring system for mountine areas of the Tisza river basin (Transcarpathia, Ukraine). *Problems of atomic science and technology*. 2023, 3(145), 145–152. Doi: 10.46813/2023-145-145.
3. Скоблей М. П., Линник П. Важкі метали у воді річки Тиси: вміст, форми знаходження та особливості міграції (за результатами моніторингових досліджень). *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2014, 4(35), 87–97.
4. Todorovic N, Bikit I, Mrdja D, Slivka J, Forkapic S, Veskovic M. Search for Tenorm in the Tisza River Sediment. *Journal of Radiation Research*. 2008, 49(3), 241–248. Doi: 10.1269/jrr.07075.
5. Bikit I, Varga E., Conkić L. J., Slivka J., Mrđa D., Ćurčić S., Žikić-Todorović N., Vesković M. Radioactivity of the Bega sediment – case study of a contaminated canal. *Applied Radiation and Isotopes*. 2005, 63(2), 261–266. Doi: 10.1016/j.apradiso.2005.03.015.
6. Кириченко В.К. Радіоекологічна небезпека та додаткове дозове навантаження на населення від хвостосховища Придніпровського хімічного заводу: *Автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.01, Національний університет біоресурсів та природокористування України. Київ*, 2015.
7. Симканич О.І., Сухарева О.Ю., Сухарев С.М. Розподіл важких металів і радіонуклідів у донних відкладах малих річок території Національного природного парку «Зачарований край» (Закарпаття) за їх течією. *Методи и объекты химического анализа*. 2014, 9(3), 145–152.
8. Галата А.В., Крамарьова Н.О., Пікареня Д.С. Застосування новітніх методів картографії у вирішенні задач екологічного моніторингу територій промислових міст. *Збірник наукових*

праць. Дніпропетровськ: НГУ. 2011, 36(2), 223–229.

9. Анпілова Є.С. Картографічні моделі для моніторингу водних об'єктів. *Екологічна безпека та природокористування*. 2013, 13, 11–17.

10. Онисько Г., Жук І., Михайлюк М., Білаш О. Застосування геоінформаційних технологій для вивчення динаміки руху річок (на прикладі річки Тиса). *Геоінформатика та земельний кадастр*. 2018, 4(53), 18–24.

11. Water quality – Sampling – Part 12: Guidance on sampling of bottom sediments: ISO 5667-12:1995, (01.11.1995).

12. Lisichenko R. Under Review: Getting to Know ArcGIS Desktop. *Journal of Stem Teacher Education*. 2011, 48(3), 93–99.

13. Симканич О.І., Сухарев С.М., Делеган-Кокайко С.В., Сватюк Н.І. Просторове геоінформаційне моделювання і прогноз розподілу екополютантів у донних відкладах. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Хімія*. 2015, 2(34), 103–107.

14. Сватюк Н.І. Радіоекологічний моніторинг гірських районів Закарпаття: вплив просторових та сезонних факторів на нуклідний склад об'єктів довкілля: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 21.06.01, Інститут проблем безпеки атомних електростанцій. Київ, 2019.

15. Sakan S., Đorđević D., Dragan D., Manojlović D., Predrag P. Assessment of heavy metal pollutants accumulation in the Tisza river sediments. *Journal of Environmental Management*. 2009, 90(11), 3382–3390. Doi: 10.1016/j.jenvman. 2009.05.013.

Стаття надійшла до редакції: 31.10.2023.

MONITORING OF RADIONUCLIDE MIGRATION IN THE BOTTOM SEDIMENTS OF THE TISA BILA RIVER' SOURCE

¹Symkanych O.I., ¹Kokhan O.P., ¹Glukh O.S., ¹Krch K.L., ¹Lytvyn O.V., ²Svatiuk N.I., ³Butsyak I.V.

¹Uzhhorod National University», 88000, Uzhhorod, Pidgirna str., 46

²Institute of Electron Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 21, Universitetska Str., Uzhhorod, Ukraine, 88017

³Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies, Lviv, st. Pekarska, 50

e-mail: olesia.symkanych@uzhnu.edu.ua

The regularities of distribution, migration, and accumulation of natural gamma-active nuclides ⁴⁰K, uranium ²³⁸U (²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi), and thorium ²³²Th (²¹²Pb, ²¹²Bi, ²²⁸Ac, ²⁰⁸Tl) series, as well as man-made ¹³⁷Cs in the sediments of the tributary of the Tysa River (Bila Tysa), have been established. It is shown that the total content of the studied radionuclides in the bottom sediments along the entire length of the Tysa River differs slightly and is proportional to the level of its siltation. And this largely depends on many factors, in particular - the intensity of radionuclide exchange processes between soil and water, the water content in the soil, organic substances, and the morphological features of the river. Fluctuations of the total specific activity of natural gamma-active radionuclides (excluding ⁴⁰K) in sediments within the range of 195.5-293.9 Bq/kg were established. The highest content of these isotopes was determined at the confluence of the White and Black Tisza. Mapping of the studied territories according to the content of ⁴⁰K and ¹³⁷Cs has show that the area of accumulation of gamma-active nuclides is concentrated in the lower part of the river (the point of confluence of the White and Black Tisza), and the probable causes of this phenomenon were substantiated. The analysis of the degree of connection between the content of radionuclides (²³⁸U and ²³²Th, ⁴⁰K and ¹³⁷Cs series) and the territorial factor showed that for the majority of GAN there is a zonal distribution - in the bottom sediments of the river source.

Keywords: radionuclides; gamma-active nuclides; radioecological monitoring; bottom deposits; migration; accumulation; Cs/K content; Tysa river.

References

1. Popov O.O. Kontseptualno-metodolohichni aspekty modeliuvannia vplyvu ob'ektiv atomnoi enerhetyky na dovkillia. *Modeliuvannia ta informatsiini tekhnolohii*. 2013, 70, 10–19 (in. Ukr).
2. Symkanich O.I., Svatiuk N.I., Maslyuk V.T., Glukh O.S., Sukharev S.N., Sherehiy A.A. Radioecology monitoring system for mountine areas of the Tisza river basin (Transcarpathia, Ukraine). *Problems of atomic science and tecnology*. 2023, 3(145), 145–152. Doi: 10.46813/2023-145-145.
3. Skoblei M.P., Lynnyk P. Vazhki metaly u vodi richky Tysy: vmist, formy znakhodzhennia ta osoblyvosti mihratsii (za rezultatamy monitorynhovykh doslidzhen). *Hidrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolohiia*. 2014, 4(35), 87–97 (in. Ukr).
4. Todorovic N, Bikit I, Mrdja D, Slivka J, Forkapic S, Veskovic M. Search for Tenorm in the Tisza River Sediment. *Journal of Radiation Research*. 2008, 49(3), 241–248. Doi: 10.1269/jrr.07075.
5. Bikit I., Varga E., Conkić L. J., Slivka J., Mrđa D., Čurčić S., Žikić-Todorović N., Vesković M. Radioactivity of the Bega sediment – case study of a contaminated canal. *Applied Radiation and Isotopes*. 2005, 63(2), 261–266. Doi: 10.1016/j.apradiso. 2005.03.015.
6. Kyrychenko V.K. Radioekolohichna nebezpeka ta dodatkovе dozove navantazhennia na naselennia vid khvostokhovyshcha Prydniprovskoho khimichnogo zavodu: *Avtoref. dys. ... kand. biol. nauk: 03.00.01, Natsionalnyi universytet bioresursiv ta pryrodokorystuvannia Ukrainy*. Kyiv, 2015 (in. Ukr).
7. Symkanych O.I., Sukhareva O.I., Sukharev S.M. Rozpodil vazhkykh metaliv i radionuklidiv u donnykh vidkladakh malykh richok terytorii Natsionalnogo pryrodnoho parku «Zacharovanyi kraj» (Zakarpattia) za yikh techiieiu. *Metody u ob'ekty khymycheskoho analiza*. 2014, 9(3), 145–152 (in. Ukr).
8. Halata A.V., Kramarova N.O., Pikarenia D.S. Zastosuvannia novitnykh metodiv kartohrafii u vyrishenni zadach ekolohichnogo monitorynhu terytorii promyslovykh mist. *Zbirnyk naukovykh prats. Dnipropetrovsk: NHU*. 2011, 36(2), 223–229 (in. Ukr).
9. Anpilova Ye.S. Kartohrafichni modeli dlia monitorynhu vodnykh ob'ektiv. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia*. 2013, 13, 11–17 (in. Ukr).
10. Onysko H., Zhuk I., Mykhailiuk M., Bilash O. Zastosuvannia heoinformatsiinykh tekhnolohii dlia vyychennia dynamiky rukhu richok (na prykladi richky Tysa). *Heoinformatyka ta zemelnyi kadastr*. 2018, 4(53), 18–24 (in. Ukr).
11. Water quality – Sampling – Part 12: Guidance on sampling of bottom sediments: *ISO 5667-12:1995*, (01.11.1995).
12. Lisichenko R. Under Review: Getting to Know ArcGIS Desktop. *Journal of Stem Teacher Education*. 2011, 48(3), 93–99.
13. Symkanych O.I., Sukharev S.M., Delehan-Kokaiko S.V., Svatiuk N.I. Prostorove heoinformatsiine modeliuvannia i prohnoz rozpodilu ekopoliutantiv u donnykh vidkladakh. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Seriiia : Khimiia*. 2015, 2(34), 103–107(in. Ukr).
14. Svatiuk N.I. Radioekolohichni monitorynh hirskykh raioniv Zakarpattia: vplyv prostorovykh ta sezonnykh faktoriv na nuklidnyi sklad ob'ektiv dovkillia: *Avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 21.06.01, Instytut problem bezpeky atomnykh elektrostantsii*. Kyiv, 2019 (in. Ukr).
15. Sakan S., Đorđević D., Dragan D., Manojlović D., Predrag P. Assessment of heavy metal pollutants accumulation in the Tisza river sediments. *Journal of Environmental Management*. 2009, 90 (11), 3382 – 3390. Doi: 10.1016/j.jenvman. 2009.05.013.