



РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ВОДНО-ГРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА БАСЕЙНУ р. ТИСА

Навчально-методичні рекомендації

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОННОЇ ФІЗИКИ
Відділ фотоядерних процесів

Громадська організація
«РАДІОЕКОЛОГІЯ КАРПАТ»

**РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ
ВОДНО-ГРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА БАСЕЙНУ р. ТИСА**

Навчально-методичні рекомендації

Ужгород, 2022

ББК 20.1(4Укр), 20.18

УДК 502/504

Рекомендовано до друку Вченою радою Інституту електронної фізики Національної академії наук України (протокол №9 від 22 листопада 2022 року)

Рецензенти:

Яцишин Теодозія Михайлівна професор кафедри технології захисту навколишнього середовища Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, доктор технічних наук, професор

Сухарев Сергій Миколайович завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища ДВНЗ «Ужгородський національний університет», доктор хімічних наук, професор

Радіоекологічний моніторинг водно- ґрунтового середовища басейну р. Тиса: навчально-методичні рекомендації / [Н.І. Сватюк, О.І. Симканич, О.М. Поп, В.І. Роман]. – Ужгород: ІЕФ НАН України, 2022. – 26 с.

Автори:

Сватюк Наталія Іванівна науковий співробітник ІЕФ НАН України, кандидат технічних наук

Симканич Олеся Іванівна доцент ДВНЗ «Ужгородський національний університет», кандидат хімічних наук, доцент

Поп Оксана Михайлівна науковий співробітник ІЕФ НАН України, кандидат фізико-математичних наук

Роман Вікторія Іванівна старший науковий співробітник ІЕФ НАН України, кандидат фізико-математичних наук, старший дослідник

Навчально-методичні рекомендації висвітлюють особливості розробки регламенту радіоекологічного моніторингу водно-ґрунтового середовища, що допоможе науковцям-екологам, радіоекологам у процесі організації, дослідження та практичної роботи їхньої діяльності.

Методична розробка призначена для аспірантів, науково-дослідних працівників, викладачів закладів вищої освіти, експертів.

УДК 502/504

ББК 20.1(4Укр), 20.18

© Сватюк Н.І., Симканич О.І., Поп О.М., Роман В.І., 2022

© ІЕФ НАН України, 2022

ЗМІСТ

	Стор.
ПЕРЕДМОВА.....	4
ВСТУП.....	5
1. ЗАВДАННЯ ТА МОЖЛИВОСТІ РАДІОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ГІРСЬКИХ РАЙОНІВ КАРПАТ.....	6
2. ПРЕДМЕТ ТА ОБ'ЄКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ.....	8
3. РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНИХ СХЕМ ПРОБОВІДБОРУ ЗРАЗКІВ ДОВКІЛЛЯ ГІРСЬКИХ РАЙОНІВ КАРПАТ.....	10
4. ВИМОГИ ДО ПІДГОТОВКИ ЗРАЗКІВ РАДІОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДЛЯ НИЗЬКОФОНОВИХ ВИМІРІВ.....	12
5. ВИМОГИ ДО НИЗЬКОФОНОВИХ ВИМІРІВ ЗРАЗКІВ ВОДНО- ГРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА БАСЕЙНУ р. ТИСА.....	13
6. ВИМОГИ ДО ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТА ОЦІНКИ РЕЗУЛЬТАТІВ РАДІОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЗРАЗКІВ ВОДНО- ГРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА БАСЕЙНУ р. ТИСА.....	16
7. ПРИКЛАДИ ОФОРМЛЕННЯ ДАНИХ.....	16
8. ВИМОГИ ДО СТАТИСТИЧНОЇ ВАЛІДАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ РАДІОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ВОДНО-ГРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА БАСЕЙНУ р. ТИСА.....	19
9. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ.....	22
10. СЛОВНИК ТЕРМІНІВ.....	24
11. ДОДАТОК.....	25

ПЕРЕДМОВА

Пропоноване видання орієнтоване на спеціалістів-екологів, експертів у сфері радіоекології, науково-дослідних працівників, викладачів, аспірантів та відноситься до практичного використання нових методів дослідження довкілля шляхом вивчення вмісту, поширення та акумуляції ізотопів-міток хімічних елементів. Такі дослідження стосуються стану наземної радіоактивності, характеристики якої є чутливими до факторів локального, регіонального та глобального впливів. Це є новим напрямом екологічних досліджень, які базуються на залученні ядерно-фізичних методик і становить сутність науки радіоекології.

Екологія гірських районів є надто вразливою до факторів діяльності людини та потребує особливих методів екологічного контролю його стану. Використання пропонованих тут радіоекологічних методик є надзвичайно перспективними для таких досліджень і дозволяє контролювати не тільки стан гірських систем, а й стан значних прилеглих територій.

Дане видання дає практично-професійні знання підготовки екологів і радіоекологів для організації радіоекологічного моніторингу гірських районів та водно-грунтового середовища.

Наталія СВАТЮК

ВСТУП

Радіоекологічний моніторинг є важливою умовою забезпечення екологічної безпеки об'єктів довкілля. Реалізація системного радіоекологічного моніторингу гірських районів регіону дозволяє визначити фактори й джерела техногенного та природного впливу на навколишнє середовище і його населення за вмістом й поширенню гамма-активних нуклідів (ГАН) природного та штучного походження, виділяти найбільш уразливі ланки екосистеми, й оцінювати ступінь її впливу. Це зумовлює пошук шляхів розробки нових методів комплексної оцінки радіоекологічного стану гірських районів і проведення досліджень, що дають змогу контролювати не тільки стан гірських систем, а й стан значних прилеглих територій. З метою забезпечення функціонування системи таких спостережень та контролю навколишнього середовища, що може виділити зміни, спричинені антропогенною діяльністю, потрібна детальна інформація про природні коливання і зміни у довкіллі. Для цього й виникли спеціальні служби моніторингу, які передбачають отримання такої інформації. Відповідно до Стратегії Державної екологічної політики України на період до 2030 р. [1] одним із інструментів її реалізації є моніторинг стану довкілля та контроль у сфері охорони навколишнього середовища і забезпечення екологічної безпеки.

Гірські хребти Карпат відіграють домінуючу роль при формуванні водних ресурсів і повітряних потоків значних прилеглих територій не лише Закарпаття, але й країн-сусідів Європи. Реалізація системного радіоекологічного моніторингу гірських районів регіону дозволяє визначити фактори й джерела техногенного та природного впливу на навколишнє середовище і його населення, виділяти найбільш уразливі ланки екосистеми, оцінювати ступінь її впливу. На геохімію гірських систем суттєво впливають умови утворення, фізико-хімічні умови середовища, які пов'язані із виходом скельних порід та глобальні фактори, пов'язані з кліматичними умовами.

З іншого боку, гірські хребти є природними повітряними фільтрами, що акумулюють продукти діяльності людини, що переносяться вітрами із промислових районів Європи. Тому, ізотопний та мікроелементний склад гірських ґрунтів і водних ресурсів також формується під впливом геохімічних факторів та діяльності людини. Наявність ізольованих гірських районів з особливим мікроелементним складом ґрунтів та води зумовлює специфіку біоєтносу, що проживає в ньому. Ці ж фактори є визначальними для оцінки екологічного стану басейнів водно-ґрунтового комплексу Карпат. Саме відпрацюванню наукових основ і нових підходів до розробки регламенту радіоекологічного моніторингу для гірських районів, зокрема на прикладі Закарпаття, та результатам їх практичного застосування присвячена дана робота.

Геохімічний склад компонентів довкілля змінюється в часі та при зміні умов середовища: температури, вологості, тиску, наявності певних речовин. Він залежить також від характеру рельєфу та його геологічної будови, особливостей і обсягів техногенного тиску, динаміки фізико-географічних умов. Тому відбір проб (місце точок відбору, відстань між ними, обсяги зразків і особливості їх зберігання тощо) має велике значення для правильності встановлення складу природних об'єктів, прогнозування забруднення та його поширення, визначення можливості й швидкості процесів самоочищення поверхневих природних вод й можливості запобігання ймовірним

радіоекологічним ризикам, що наразі є актуальним при вивченні екологічного стану для молодих гір, якими є Карпати. Важливим також є визначення сезонних й регіональних та глобальних особливостей забруднення оточуючого середовища, що визначають базові кліматичні та геохімічні характеристики Карпатської водно-грунтової системи, а також ізотопний склад зразків доквілля, що визначають наземну радіоактивність на досліджуваній території.

Дане видання включає в себе інформацію про цілі та можливості радіоекологічного моніторингу, його особливості для гірських районів Карпат, вибір оптимальної схеми пробовідбору та об'єкти дослідження, що відображають екологічний стан водно-грунтового комплексу басейну річки Тиса. Приведено дані про регламенти підготовки зразків та умови проведення низькофонових гамма-спектрометричних досліджень: засоби та методи їх проведення. Показано важливість вимог до представлення та оцінки результатів радіоекологічного дослідження зразків водно-грунтового середовища басейну р. Тиса, необхідність їх статистичної валідності в рамках факторного та кластерного аналізу, що дає нові можливості оцінки та прогнозування забрудненості доквілля.

Результатом відпрацювання нових підходів та регламентів радіоекологічного моніторингу водно-грунтового середовища басейну р. Тиса стане їх практичне застосування в сферах природоохоронних служб та водних господарств, а також державних і недержавних інституцій, що стоять на захисті екологічної безпеки.

1. ЗАВДАННЯ ТА МОЖЛИВОСТІ РАДІОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ГІРСЬКИХ РАЙОНІВ КАРПАТ

Наземна радіоактивність є результатом сукупної дії радіонуклідів, що є продуктами розпаду та перетворень природних радіоактивних рядів важких ізотопів торію, урану, нептунію та актинію.

Відкриття радіоактивності, встановлення її характеристик та дію радіації на біоту і організм людини призвело до створення нового наукового напрямку – радіоекології. Радіоекологія є складовою частиною науки екології та орієнтована на дослідження стану доквілля, впливу природних і техногенних факторів на його показники, а також взаємодію всього живого, зокрема, нас, людей, із навколишнім середовищем. Ці завдання радіоекологія вирішує своїми методами, досліджуючи поширення та міграцію радіонуклідів, які є радіоактивними ізотопами хімічних елементів, що формують показники наземної радіоактивності.

Радіаційний моніторинг – це інформаційно-технічна система спостережень, оцінювання та прогнозу радіаційного стану біосфери. Предметом радіологічного моніторингу є стан наземної радіоактивності, який формується ізотопами природного, штучного походження, та їх α -, β -, γ - спектри випромінювання. У свою чергу, вміст і співвідношення цих радіонуклідів визначається сукупністю факторів як біологічні, геохімічні, техногенні чи глобальні, що важливо для екологічних досліджень. Тотальна присутність природних радіонуклідів у всіх елементах біосфери підтверджує висновок В.І. Вернадського про їх «всюдисутність» у навколишньому середовищі та живих організмах [2]. Це привело до усвідомлення того, що життя на Землі пов'язане із постійним

радіаційним фоном, структура та інтенсивність якого залежить від геохімічних особливостей регіону.

Якщо загальна поширеність радіонуклідів земної кори залежить від властивостей їх атомних ядер, то характер поширення – від хімічних властивостей і геохімічних характеристик середовища. Пояснення структури природної радіоактивності потребує систематизації даних про молоді екзогенні та ендегенні геологічні процеси, а також виявлення закономірностей порушення радіоактивної рівноваги в рядах розпаду. Хімічний та ізотопний склад у земній корі безперервно оновлюється внаслідок переміщення хімічних елементів у складі газів, водних і твердих розчинів. При цьому відбувається перехід як материнських ізотопів U та Th, так і продуктів їх розпаду в поверхневі води та фіксація їх у ґрунтах. Такий перехід відбувається не лише з геологічних порід, але із продуктів їх розпаду і дуже залежить від хімічної активності елемента. Основними факторами, що визначають геохімію та розподіл ізотопів U, Th, Ra у земній корі, є хімічні та радіоактивні властивості ізотопів, а також фізико-хімічні особливості середовища. Структурою природної радіоактивності для даної території є відображення геохімічної поведінки радіонуклідів радіоактивних рядів розпаду, з урахуванням «відкритості» системи внаслідок локальних порушень радіоактивної рівноваги між її членами. Характеристиками «відкритості» системи можуть служити радіонуклідні спектри, що являють собою послідовний ряд, наприклад, активностей радіонуклідів, генетично пов'язаних взаємними перетвореннями і нормованих за активністю родоначальника ряду розпаду.

Проведення систематичних досліджень явища радіоактивності сприяють розумінню того, що земна кора, ґрунти, намули, скельні породи тощо формуються хімічними елементами, що мають стабільні та радіоактивні ядра, різні співвідношення яких визначають показники радіаційного фону для даної території. Особливо цікавими для радіоекологічних досліджень є гірські утворення, що містять ізольовані територіальні райони зі специфічними показниками природної радіоактивності та мікроелементного складу в регіоні проживання. Також постійно є актуальним вивчення впливу малих доз радіації як віддалений наслідок ядерних катастроф на життя людини. Це стимулює необхідність систематичних досліджень структури й технічних характеристик наземної радіоактивності, зумовленої природними і техногенними факторами.

Радіоекологія Європейських гірських систем – Карпат має свої особливості. Гори активно акумулюють продукти техногенної активності людини із значних прилеглих територій, вони чутливі до глобальних факторів: потепління, тектонічної активності, інше. Також, Карпати є джерелом водних ресурсів і місцем формування повітряних мас для значної частини країн Східної та Центральної Європи. Вже перші систематичні дослідження радіоекологічного стану Карпат, зокрема їх водно-ґрунтового комплексу, засвідчили важливу роль стратосферних вітрів у глобалізації наслідків техногенних катастроф та ядерних інцидентів [3]. Радіоекологічний моніторинг має включати міграцію та осаджених радіонуклідів, що зумовлює часову зміну їхнього вертикального вмісту в ґрунтах. На неї впливає низка чинників, серед яких є дифузія та направлене перенесення радіонуклідів. Суттєво впливають і кліматичні чинники, зокрема температурний режим території, тривалість літнього й зимового сезонів, вид та інтенсивність атмосферних опадів тощо [4]. Зміна мікроелементного та ізотопного складу ґрунтів гірських районів

Карпат може відбуватися під впливом вітрових потоків, що переносять техногенні викиди підприємств чорної та кольорової металургії, легкої промисловості, ТЕС.

2. ПРЕДМЕТ ТА ОБ'ЄКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

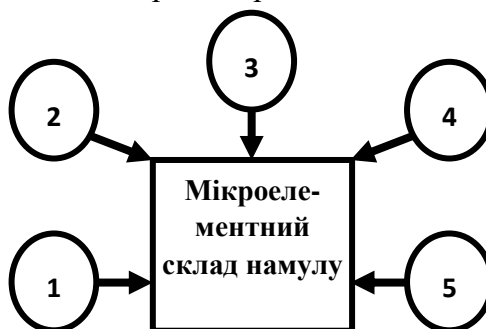
Донні відклади водних басейнів Карпат є природними маркерами їх якості та відображають особливості і динаміку зміни хімічного, мікроелементного, радіонуклідного складу, оскільки вони формуються під дією природних, зокрема, геохімічних чинників, а також антропогенних, метеорологічних та сезонних факторів, внаслідок змиття ґрунтів берегів річок, тощо. Особливістю гірських річок є значна площа водозбору та швидка зміна наповнюваності їх русел. Велика швидкість течії сприяє оновленню компонент донних відкладів, тому їх мікроелементний склад відображає стан і зміну хімічних властивостей річкової води за фіксований проміжок часу. Намули є універсальним акумулюючим середовищем, радіонуклідний, мікроелементний та хімічний склад якого формується під дією метеорологічних і сезонних чинників, внаслідок змиття ґрунтів їх берегів. Крім того, вагомою причиною на користь радіоекологічного моніторингового дослідження водно-ґрунтового комплексу басейну р. Тиси є те, що наукові дослідження з вивчення розподілу, міграції та акумуляції радіонуклідів практично не проводяться, а наявні у літературі дані є фрагментарними.

Річка Тиса є однією із найбільших рік Східної та Центральної Європи та найбільшою лівою притокою р. Дунай, постачаючи їй понад 13% водозбору. Вона є важливою компонентою водних ресурсів таких країн, як: Україна, Румунія, Словаччина, Угорщина та Сербія.

В Україні практично вся територія Закарпаття є басейном її водозбору. Проте, це становить лише 25,6% її загального стоку, інші об'єми водозбору формуються на територіях Румунії (51%), Словаччини (13,4%) та Угорщини (10%). Тиса бере свій початок біля Рахова в Закарпатській області та формується злиттям Білої і Чорної Тиси. Основну частину водних ресурсів Закарпаття становлять річкові стоки, які відіграють важливу роль у процесах акумуляції й переміщенні хімічних компонентів та формуванні ізотопного складу поверхневих шарів гірських схилів. Частина стоку гірських рік Закарпаття формується на румунській, угорській, словацькій територіях басейну річки Тиса. Так, річки Вішеу та Іза з румунської території впадають в річку Тиса вище міста Тячів, річки Красна та Самош із угорської території також впадають у річку Тиса, в низинній зоні (вище міста Чоп), а річки Убля й Улічка, зі словацької території, є правобережними притоками річки Уж поблизу смт. В. Березний. Загалом, ріки, що формуються в Українських Карпатах, належать до трьох великих річкових басейнів, а саме річки Вісла, яка впадає в Балтійське море та річок Дністер і Дунай, які впадають у Чорне море.

Особливістю гірських річок є значна кількість твердого стоку, який транспортується руслом річок, у вигляді гальки та розмитої глини (завислі мулові та піщані частинки). Їх дном, особливо в паводки, переноситься велика кількість наносів. Останні, змінюють русло річок, утворюють загати, зменшують їх пропускну здатність. Потужність твердого стоку знаходиться в прямому взаємозв'язку з еродованістю земельних площ лісового та

сільського господарства, станом річкових долин (особливо берегів річок) тощо, тобто, є вкрай небажаним. На формування мікроелементного складу намулів впливають різні чинники (рис. 1), зокрема: 1 – власний геохімічний склад намулів; 2 – хімічна активність ГАН; 3 – водозбір, що відображає техногенні та геохімічні фактори з найближчих територій; 4 – ці ж фактори з віддалених вгору за течією точок водозбору; 5 – поточні метеоумови, такі як: роза вітрів, частота й інтенсивність опадів, а також сезонні фактори [5]. Роль цих факторів різна при формуванні рік. Так, для озер та низинних рік особливу роль відіграють фактори 1, 2, 5, а для гірських рік – 3, 4, 5.



1. Схема формування мікроелементного складу намулів

Міграція радіоактивних елементів із водою, відбувається при переміщенні радіоактивних частинок із водним потоком, а також шляхом переміщення розчинних форм радіоактивних речовин на площі, що розташована нижче місця виносу. Крапельна ерозія є першим видом змиву ґрунту, що призводить до руйнування (розпилення) ґрунтових частинок, до складу яких входять радіонукліди та їх розкидання площею. Донні осади містять багато органічної речовини та мінерального колоїдного матеріалу, а тому є хорошими сорбентами і, певною мірою, фіксують радіонуклідний склад води.

Важливим є проведення радіоекологічного моніторингу ґрунтів природно-заповідних територій. Вибір моніторингу заповідних територій зумовлений по-перше, необхідністю наявності достатніх за площею природно-заповідних об'єктів, які зазнали і зазнають мінімального антропогенного впливу [6]. По-друге, розробка нових критеріїв регламенту радіоекологічного моніторингу враховує, як значимість, цих параметрів для біоти, так і поширеність окремих речовин у природі, їх міграцію. Моніторинг поширеності та розподілу радіонуклідів розглянемо на моделі природничих заповідних територій НПП «Зачарований край», ВБУ «Чорне Багно» та Іхтіологічний заказник «Ріка».

Ґрунти є відносно інертними об'єктами довкілля, тому відбір проб слід здійснювати одноразово у весняно-осінній період. Проби ґрунту, як зразки заповідних територій, слід відбирати з поверхні 0 см, на глибині 20 см та на глибині, понад 50 см, згідно ГОСТу [5–10], вздовж гірських хребтів, хребет-долин. Це дозволяє визначити як детальний вертикальний профіль розподілу питомої активності радіонуклідів у поверхневому шарі ґрунту, так і їхній вміст (у Бк/м²) в кожному шарі.

Як правило, радіоактивність у зразках довкілля визначається через вміст, у їх складі мінеральних зерен, а також уламків первинних порід, які і визначають їх хімічний та ізотопний склад. Вилуговування та випадання радіонуклідів під дією дощів та ґрунтових вод, визначають розподіл активності нуклідів за глибиною ґрунту чи вздовж русел рік. У разі, коли швидкості утворення / розпаду проміжних членів радіоактивних рядів рівні,

тобто досягається вікова рівновага. Відхилення від такої рівноваги визначаються за наборами ізотопів-міток і свідчать про наявність факторів природного чи штучного походження, які мають бути встановлені. 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}Bi та ^{214}Pb можуть бути використані для визначення вмісту радіоактивних серій U (^{238}U), чи еквівалентного Th (^{232}Th). Для цих цілей також можна використати ізотопи-мітки ^{212}Pb , ^{212}Bi та ^{228}Ac , а також ^{40}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}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 [11]. Особливості радіоактивного розпаду та вмісту у досліджуваних зразках з обмеженого числа радіонуклідів, як правило, природних рідів урану та торію дають унікальну можливість їх використання не лише у якості міток різного роду об'єктів довкілля та досліджуваних територій, але й для задач ядерного датування.

3. РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНИХ СХЕМ ПРОБОВІДБОРУ ЗРАЗКІВ ДОВКІЛЛЯ ГІРСЬКИХ РАЙОНІВ КАРПАТ

Відбір проб відіграє важливу роль і зобов'язаний забезпечити достатність та достовірність оцінки радіоекологічних показників довкілля. *Пробовідбір* – це сукупність операцій (дій), які забезпечують відбір проби від контрольованого об'єкта, технічної системи з метою підготовки для обробки відповідно до методики аналізу. Його призначення полягає в отриманні представницької проби з відповідними параметрами. Ще одним визначенням яким оперуємо (*один термін, який будемо використовувати*) – це проба речовини (матеріалу). *Проба речовини* (намулу чи ґрунту) – частина речовини об'єкта аналітичного контролю, відібрана для аналізу і дослідження його структури, визначення властивостей, що відображають його хімічний склад, структуру, властивості (ГОСТ Р 52361-2005).

Вона повинна мати наступні характеристики:

- бути представницькою, тобто характеризувати дійсний склад аналізованого середовища;
- мати параметри, що відповідають вимогам, зазначеним у стандартах або технічній документації;
- повинна бути оброблена відповідно до методики аналізу з метою виділення або посилення фізико-хімічних параметрів, вимір яких обумовлює визначення необхідного параметра складу і властивостей середовища.

Програма відбору як проб ґрунтів, так і донних відкладів, має відповідати *цілям дослідження*. Так, відібрані зразки мають якнайбільше характеризувати досліджувану територію чи водний об'єкт – русло гірської річки, впродовж вибраного часового періоду. Об'єм відібраної проби має бути достатнім для забезпечення статистики отриманих даних

вимірювань. Так, на водотоках з швидкою течією, характерною для гірських рік, проби відбирають на ділянках зі сталою динамічною рівновагою між зваженими частинками і донними відкладами.

Проби донних відкладів за гранулометричним складом та шириною річки слід відбирати через одну швидкісну вертикаль. Для оцінки динаміки вмісту забруднюючих речовин у донних відкладах, проби відбирають на одній і тій же ділянці дна водного об'єкта, точне місце якого позначається встановленням репера на березі.

Проби відбирають з періодом, що забезпечує можливість оцінки ступеня забрудненості донних відкладів у характерні фази їх гідрологічного режиму [12]. Розглянемо два види відбору проб седиментів (донні відклади, ґрунти). Забір проб донних відкладів відбувається за наступною схемою: першу точку слід обирати у верхів'ї гірської річки, де вплив людини на екосистему найменший. Інші точки слід вибирати нижче за течією 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 визначають за допомогою GPS-навігації, а відстань між ділянками пробовідбору має складати орієнтовно 5–10 км, з урахуванням рекомендацій [13].

Для радіоекологічного моніторингу водного комплексу пропонується наступна схема розташування точок пробовідбору із початком у верхів'ї гірської річки, який показано на *Рис. 2*. Це дозволило встановити джерела та шляхи потраплення радіонуклідів у донні відклади річок.

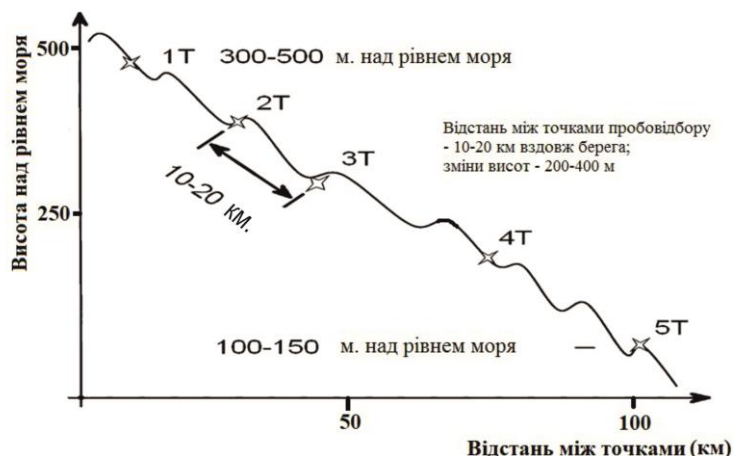


Рис. 2. Схема гірського рельєфу та положення точок пробовідбору намулів, вздовж русла гірських рік (умовно)

Відбір проб доцільно проводити з урахуванням вертикальної структури ґрунтів (верхів'я гір, низинні ділянки та вздовж хребта), неоднорідності покриву ґрунту, рельєфу і клімату місцевості, а також з урахуванням особливостей забруднюючих речовин або організмів. Проби відбираються за профілем з ґрунтових горизонтів з глибини від 0 до 50 см або шарів з таким розрахунком, щоб у кожному випадку проба була частиною ґрунту типовою для генетичних горизонтів або шарів даного типу ґрунту.

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

4. ВИМОГИ ДО ПІДГОТОВКИ ЗРАЗКІВ РАДІОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДЛЯ НИЗЬКОФОНОВИХ ВИМІРІВ

Пробовідбір зразків мулової грязі рік вагою понад 1500 – 2000 г слід здійснюється у фіксованих точках ручним методом з глибини 0 – 15 см з використанням драг. Проби упаковуються, транспортуються і зберігаються в поліетиленових пакетах, що містять пакувальний ярлик із зазначенням дати відбору, номера проби та інформацію про місце відбору проб. Ємності для зберігання проб герметично закриваються.

Наступним кроком є сушка відібраної проби при температурі 110⁰С у сушильній шафі до повітряно-сухого стану згідно з [13]. Після подрібнення, з проб слід видалити сторонні рештки (корені рослин, каміння, скло, вугілля, кістки тварин, тощо), потім пробу просіюють через сито діаметром отворів 1 мм, з метою одержання однорідної маси. Підготовлені зразки донних відкладів перед радіоекологічними дослідженнями слід помістити в герметичні ємності на три тижні для забезпечення умов рівноваги радіонуклідів рядів ²³⁸U та ²³²Th. Після цього, підготовлені проби намулу масою 1–1,5 кг насипають у посудину Марінеллі для проведення їх радіоспектроскопічного аналізу.

Відбір проб ґрунту відбувається за «правилом конверту» [8, 9]. У районі вибраних контрольних точок, вибирається ділянка розміром 100x100 м. В кутах вибраного квадрату і в його центрі, відбирались 5 елементарних проб. У місці відбору елементарної проби за допомогою ножа зрізається рослинність до рівня ґрунту. Після цього, від ґрунту відділялись грубі домішки (гілочки, каміння, залишки рослинності, сміття та ін.). Потім лопатою, з площі 10x10 см робиться виїмка ґрунту (масою 7÷10 кг), на глибину 2,0÷2,5 см. Відібрана проба поміщається у відро або поліетиленовий пакет. З п'яти відібраних елементарних проб методом квартування готувалась усереднена проба. Для цього зібрані елементарні проби ретельно перемішуються совком і розкладались рівним 10 см шаром у формі квадрата на планшеті. Квадрат ділився на чотири рівні частини, з яких дві діагонально протилежні частини відкидались, а частини, що залишилися, перемішувались і повторно розкладались у формі квадрата [9]. Операція повторювалась до отримання усередненої проби масою 1÷1,5 кг. Усереднена проба переноситься за допомогою совка в поліетиленовий пакет, який герметично зав'язувався шпагатом. Проба забезпечується паспортом і поміщається в другий поліетиленовий пакет, в який заздалегідь вкладався пакувальний ярлик (на цьому ярлику зазначалась дата упаковки, кількість проб, номер проб, автор пробовідбору та детальна інформація про місце відбору). Другий поліетиленовий пакет також зав'язується шпагатом [9].

Проби ґрунтів потрібно відбирати з глибини: 0-20 см – гумусовий ґрунтовий горизонт; 20-50 см – верхній перехідний горизонт; > 50 см – нижній горизонт, підготовка їх до аналізу, транспортуються і зберігаються у відповідності з [8, 9]. Як і в попередньому випадку, відібрані проби слід пронумерувати і зареєструвати в журналі, вказавши: номер і місце взяття проби, рельєф місцевості, тип ґрунту, цільове призначення території, вид забруднення, дату відбору [9]. В залежності від поставленої задачі, розрізняють наступні терміни: пробна площадка, – досліджувана територія, що має схожі умови; точкова проба – одиничний матеріал, взятий з одного місця горизонту або одного шару ґрунтового профілю, типовий для даного горизонту або шару; об'єднана проба – проба від суміші декількох точкових проб.

5. ВИМОГИ ДО НИЗЬКОФОНОВИХ ВИМІРІВ ЗРАЗКІВ ВОДНО-ГРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА БАСЕЙНУ р. ТИСА

Експериментальна методика досліджень полягає у використанні ядерно-фізичних методів дослідження, співставлення отриманих результатів із теоретичними та відомими базами радіоекологічних досліджень. На відміну від традиційних хіміко-аналітичних методик, ядерно-фізичні методи дають суттєві переваги в дослідженні. Перш за все, ядерні методики використовують характерні ознаки відразу трьох типів α -, β - чи γ -випромінювання об'єктів дослідження. Це дозволяє отримати поглиблену інформацію для досліджуваної речовини щодо її хімічного, домішкового й ізотопного складу, а також співвідношення компонент, наявність та інтенсивність α -, β - чи γ -емітерів.

Використання методів низькофонові γ -спектроскопії дозволить реалізувати універсальні, експресні та прецизійні способи дослідження зразків доквілля. Вони базуються на результатах вивчення енергетичних спектрів джерел γ -випромінювання досліджуваних зразків, співставлення їх із наявними базами даних ізотопних спектрів, даними калібрування за еталонними джерелами, для ідентифікації й встановлення вмісту в зразках досліджуваних радіонуклідів [14]. На початку для всіх γ -спектрів проводять калібрування із використанням стандартних γ -джерел, які мають статус вторинних метрологічних стандартів і проходять обов'язкову періодичну перевірку. Суттєвою вимогою до вимірювань γ -емітера є точна ідентифікація його фотопіку у апаратурному спектрі на певному каналі, отриманому детектуючою системою. Процедура встановлення радіонуклідів при калібруванні полягає у співставленні енергії фотопіків на апаратурному спектрі із енергіями γ -ліній, що їх випромінюють радіоізотопи, які містяться у зразковому стандарті. Для коректного калібрування необхідно, щоб енергія еталонного джерела була співставленою із центроїдом відповідного піку повного поглинання на апаратурному спектрі [15].

Вимірювання досліджуваних об'єктів є тривалим процесом для забезпечення достатньої статистики, з метою встановлення спектрального складу випромінювання. Отримані при цьому дані є ідентифікаційними ознаками об'єкту дослідження та дають можливість паспортизації його ізотопного складу. Досліджувані зразки намулів та ґрунтів представляють для досліджень в однакових умовах, що передбачає вибір для них однакових типів контейнерів, їх завантаження, ваги та щільності досліджуваних проб. Це зумовлено тим, що при вимірюванні необхідно враховувати реальні розміри джерела γ -квантів, віддаль від джерела до поверхні детектора та тілесний кут їх захоплення. Зміна цих умов призведе до збільшення похибки вимірювань.

Покращення достовірності одержаних результатів досягається шляхом зменшення систематичної похибки за рахунок багаторазових повторювань вимірів наведеної активності зразків доквілля ($n=6$), так і співставлення отриманих результатів ядерно-фізичних експериментів при різних режимах їх вимірів. Чутливість і відтворюваність визначення питомої активності ГАН методом гамма-спектрометрії у значній мірі залежить від часу вимірювання. Тому оптимізація параметрів вимірювання ГАН, за однакових інших умов дослідження, стосується переважно часу вимірювання. Експериментально встановлено, що із зростанням часу вимірювань зростає фонова активність ГАН і зменшується відносна похибка вимірювань (Рис. 3). При цьому, з урахуванням флуктуації

значень фонові активності ГАН, від часу виміру 5000 с довірчі інтервали вимірних значень активності ГАН аж до часу вимірювання 3000 с перекриваються. Тому мінімальним часом вимірювання, який забезпечує достатню відтворюваність і точність визначення ГАН є не меншою за 5000 с.

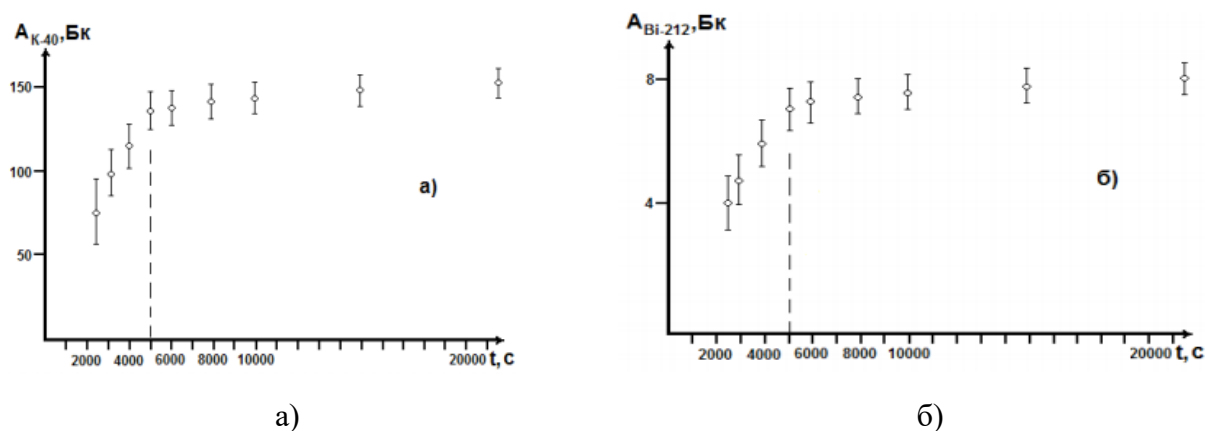


Рис. 3. Вплив часу вимірювання на величину та похибку визначення фонових значень природних ГАН: а) ^{40}K , б) – ^{212}Bi (ряд ^{232}Th)

Збільшення ж часу штатних вимірювань приводить до необхідності врахування зміни фонових умов та обумовлену ними похибку. Таким чином, можна звернути увагу на необхідність оптимізації часу вимірювання із врахуванням якості фонових умов, похибки вимірювань, а також економічних показників [16].

Контроль фонових умов під час радіоекологічних вимірювань є дуже важливим. В першу чергу, це обумовлено тривалістю часу вимірювань, який може становити 10–20 годин. Більш того, якраз структура та часова стабільність радіаційного фону, визначають межі статистичної достовірності, з якою визначається вміст радіонуклідів у зразках доквілля при довготривалих гамма-спектрометричних експериментах.

Важливим також є вимоги до вибору приміщення низькофонові [17] лабораторії. Фонові умови визначаються сукупністю радіаційних факторів, таких як: випромінювання від стін, підлоги приміщення, наявного устаткування та від радіоактивних компонент повітря, що є в низькофоновій лабораторії. Останній фактор, в основному, обумовлений присутністю летких компонент газів $^{220,222}\text{Rn}$, продуктів розпаду урану-238 і торію-232. Постійним також є вплив космічного випромінювання, який може становити до 10% і пов'язаний як із пучками високоенергетичних частинок, так і присутністю в атмосфері продуктів їх взаємодії з речовиною як ^{14}C .

Наявність вказаних радіаційних факторів, обумовлює виконання завдань для пониження та стабілізації фонових умов вимірювання. В першу чергу, це здійснюється системою пасивного, багат шарового 4 π -захисту від випромінювання елементів приміщення лабораторії. Іншим джерелом нестабільності радіаційних умов низькофонові лабораторії є радіоактивні гази, в першу чергу $^{220,222}\text{Rn}$, присутні в повітрі, які добре конденсуються на охолоджених поверхнях при відсутності природної та примусової вентиляції. Природа поступлення радону має як локальне: скельні породи, на яких побудовано лабораторний корпус, каналізація, так і глобальне походження. Щодо останнього, то це вітрові потоки, що переносять вологу та піщані зависи, що містять радон. Так, під час опадів концентрація радону в низькофоновій лабораторії зростає.

Гамма-спектрометрія досліджуваних зразків потребує їх заміни, іноді досить частої. З цих причин гамма-спектрометричний комплекс не може бути герметичним, так як і, відповідно, детекторне приміщення, яке, окрім шлюзів, не ізольоване від інших приміщень. Негерметичність гамма-спектрометричного комплексу (зовнішнього захисту) і детекторного приміщення спричиняє доступ повітря у ці об'єми, з усіма можливими наслідками.

Гамма-спектрометрія різних, у тому числі і об'ємних (зразки довільної маси, форми та розмірів, напр., зразки кераміки) зразків, у яких знаходяться об'єми повітря, потребує додаткового внутрішнього захисту (ВЗ), який знаходиться у зовнішньому верхньому захисті. Він служить для одночасного захисту поверхні кристала детектора та об'ємних зразків і складається з внутрішнього верхнього захисту, який захищає зразки, та внутрішнього нижнього захисту, який захищає бокову поверхню детектора [17].

На *Рис. 4* наведено схему (в розрізі) вузла верхнього зовнішнього захисту детектора. У ньому розташовані елементи фіксованого об'єму та складу повітря ФОСП (поз. 6), теплоізоляційна (поз. 10) та пилозахисна (поз. 11) ширми; розташовані двері верхнього захисту (поз. 12), що складаються з шарів, аналогічних вказаним вище. У робочому просторі цього верхнього зовнішнього захисту, розміщений об'єкт нашої уваги – вузол внутрішнього захисту (поз. 7), який знаходиться безпосередньо біля верхньої частини вакуумованого та охолоджуваного скрапленням азотом кріостата (поз. 9), в якому розміщується кристал детектора.

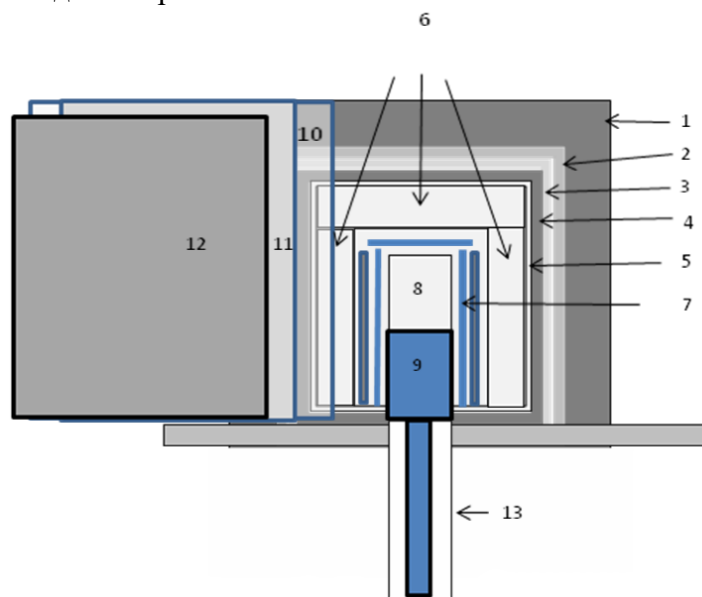


Рис. 4. Вузол верхнього захисту ССПФ. 1, 2, 3, 4, 5 – зовнішній верхній захист; 6 – ФОСП-К; 7 – елемент внутрішнього захисту; 8 – позиція зразка; 9 – кріостат детектора; 10 – теплоізоляційна ширма; 11 – пилозахисна ширма; 12 – двері зовнішнього верхнього захисту; 13 – холодопровід детектора

Результат системи стабілізації та пониження фонових умов гамма-спектрометра, покаже коефіцієнт ефективності захисту одержаних гамма-спектрів отриманих без та із урахуванням захисту.

6. ВИМОГИ ДО ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТА ОЦІНКИ РЕЗУЛЬТАТІВ РАДІОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЗРАЗКІВ ВОДНО-ГРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА БАСЕЙНУ р. ТИСА

Радіоекологічне дослідження р. Тиса має різний гідрологічний режим, а ділянки водозборів відрізняються ландшафтами, складом ґрунтів, гірських порід та різним антропогенним навантаженням, адже протяжність її територією України займає 220 км. Вибір положення та числа точок пробовідбору, має визначатися як геоморфологічними показниками басейну ріки, так й інтенсивністю на неї техногенних факторів. Річка Тиса є найбільш чутливою до впливу глобальних техногенних факторів. Встановлено, що домінуючою часткою забруднення водних ресурсів, наприклад, біогенними речовинами спричиняють найбільші міста Закарпаття – Рахів, Тячів, Хуст, Виноградове, Берегове, Ужгород. Різними є захищеність територій, де знаходяться русло ріки, від впливу техногенних факторів, що привносяться вітрами, а також їх геоморфологічні та метеорологічні показники, тому даний об'єкт дослідження є ідеальним полігоном для вивчення поширення дочірніх радіонуклідів уран / торієвих рядів під дією метеорологічних та геохімічних факторів.

Таким чином, вміст хімічних елементів урану і торію, або ж фіксованих наборів радіонуклідів цих рядів, а також космогенного ^{40}K в достатній мірі може служити ідентифікаційними ознаками територій та критеріями для встановлення територіальної локалізації об'єктів дослідження [18]. Важливим питанням є встановлення стійкості цих ознак під дією антропогенних, геохімічних, метеорологічних та глобальних чинників. Зокрема, наскільки вони є постійними із врахуванням міграційної здатності, хімічної активності вибраних радіонуклідів-міток та зміни їх вмісту, співвідношення в об'єктах дослідження під впливом сезонних та просторових факторів, тому важливим є сезонна періодичність проведення моніторингових досліджень. Не менш важливою є встановлення просторових закономірностей акумуляції та статистичної кореляції ізотопів-міток гірських територій для встановлення стійкості їх радіологічних показників. На ці показники можуть впливати як вказані міграційні властивості, так і глобальні фактори, обумовлені атмосферними опадами і рухом повітря із значних прилеглих територій. Продукти техногенної діяльності людини, які потрапляють в атмосферу, можуть змінювати структуру наземної радіоактивності. Такий вплив залежить від погодних умов, ґрунтового покриття, хімічних та фізичних властивостей радіонуклідів.

7. ПРИКЛАДИ ОФОРМЛЕННЯ ДАНИХ

Найпершим кроком в оформленні даних є побудова таблиці, яка включить в себе всі характеристики точок пробовідбору досліджуваного об'єкта. За приклад візьмемо р. Боржава, яка є частиною водного басейном р. Тиса (Табл. 1).

Наступним кроком є проведення серії спектроскопічного дослідження гамма-спектрів донних відкладів басейну річки Тиса. В даному випадку дослідження проводилось на спектрометричному комплексі "ORTEC" з HPGe-детектором об'ємом 150 см³ (Рис. 1а). У Табл. 2. приведений перелік досліджуваних енергій ліній E_{γ} , у кеВ та, відповідно, їх квантовий вихід n ізотопів-міток.

Таблиця 1.

Характеристики точок пробовідбору гірських рік Закарпаття та їх GPS-координати [18]

р. Боржава				
Точка пробо- відбору	Дата	Населений пункт	Маса зразку кг.	GPS-координата
T1	15.04.22	с. Березники	1,8	C48°30.202'×323°13.524'
.
T4	15.04.22	с. Білки	2	C48°19.770'×323°08.636'

Таблиця.2

Перелік досліджуваних енергій ліній E_γ , у кеВ та, відповідно, їх квантовий вихід n ізотопів-міток [17]

	ГАН	Нуклід	$T_{1/2}$	E_γ , кеВ	n , %
1	^{232}Th	^{228}Ac	6.15 год	338,32	11,27%
				911,204	25,8%
				968,971	15,8%
2		^{212}Pb	10.64 год	238,632	43,6%
				300,087	3,30%
3		^{212}Bi	60.6 хв	727,33	6,67%
4	^{238}U	^{208}Tl	3.05 хв	583,191	85,0%
				2614,533	99,754%
5		^{226}Ra	1600 років	186,211	3,64%
6		^{214}Pb	26.8 хв	295	18,42%
			351	35,60%	
7	^{214}Bi	19.9 хв	609,312	45,49%	
			1120,287	14,92%	
			1764,494	15,30%	
8	^{40}K		$1.26 \cdot 10^9$ років	1460	11%
9	^{137}Cs		30 років	661	85%

У результаті ми отримаємо дані питомих активностей ізотоп-міток ГАН намулів за руслом р. Боржава (Табл. 3).

Таблиця 3

Дані вимірювання питомої активності ГАН намулів русла річки Боржава [18]

Точка пробо- відбору	Питомі активності радіонуклідів (Бк/кг)									
	Дата	^{40}K	^{137}Cs	^{214}Pb	^{214}Bi	^{226}Ra	^{212}Pb	^{212}Bi	^{228}Ac	^{208}Tl
1	06.12.2006	289,9	3,5	28,2	30,1	18,69	22,2	24,9	45,3	9,9
	10.02.2007	308,4	4,4	26,4	24,4	16,1	19,2	18,5	23	4,87

	27.11.2008	284,3	4,1	31,1	31,9	18,9	19,6	19,1	64,7	8,7
2	06.12.2006	423,3	5,4	24,8	25,4	26,7	16,9	25,8	44,9	7,2
	10.02.2007	394,6	4,3	22,3	32,1	47,3	23,6	30,7	39,3	6,42

	27.11.2008	330,3	3,9	24,2	23,3	16,1	17,8	18,2	28,9	7,22
.
.

Якщо йдеться про радіоекологічне дослідження ґрунтів гумусового профілю території, то таблиця має включати глибину перехідного шару, наприклад, Табл. 4.

Таблиця 4

Дані вимірювання питомої активності ГАН ґрунту НПП «Зачарований Край» [18]

Точка пробовідбору	Ґрунтовий профіль	Питомі активності радіонуклідів (Бк/кг)						
		⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	²¹⁴ Bi	²¹² Pb	²¹² Bi	²²⁸ Ac	²⁰⁸ Tl
1	0-20	309,3	15,4	23,2	25,8	27,5	27,3	17,2
	20-50	231,3	5,2	17,7	20,2	22,1	22,8	14,8
	> 50	365	4,5	29,5	32,3	34	34,4	20,9
2	0-20	243,6	31,5	29,8	35,8	39,5	37	13,5
	20-50	239,4	12,4	25,6	30,7	34,3	36,2	10,8
	> 50	179,5	9,6	15,5	22,1	25,9	29,1	15

Систематизувавши дані, ми отримаємо результати усереднених даних (стандартів) за точками пробовідбору донних відкладів впродовж усього часу спостереження (Табл. 5).

Таблиця 5

Усереднений вміст (стандарту) ГАН у зразках намулів р. Боржави за весь час спостереження: для вибраних точок пробовідбору, а також узагальнене значення (стандарт) для всього русла річки [18]

№ пробовідбору (нас. пункт)	Питома активність ⁴⁰ K (Бк/кг)	Питома активність ¹³⁷ Cs (Бк/кг)	Питома активність ²¹⁴ Bi (Бк/кг)	Питома активність ²¹² Pb (Бк/кг)
1) с. Березники	340	3,9	22,1	20,2
2) с. Кушниця	307,9	3,9	22,1	21,7
3) с. Довге	292,9	3,6	19,3	17,9
4) с. Білки	290	3,5	17,9	17,4
Дисперсія	16,25	0,17	1,75	1,65
Стандарт	297,4	3,72	19,7	19,1

І, нарешті, за результатами систематизованих даних питомих активностей, враховуючи гідрологічні й гідродинамічні режими, ландшафтні ділянки водозборів та антропогенні навантаження можна побудувати графік сезонних осциляцій питомого вмісту ¹³⁷Cs у зразках намулів [19] (Рис. 5).

Для ґрунтів представлення даних наступне, встановивши спектроскопічним методом питоми активності зразків ґрунтів досліджуваної території можна встановити відношення як природніх так й техногенних походження в залежності від глибини пробовідбору (Рис. 6).

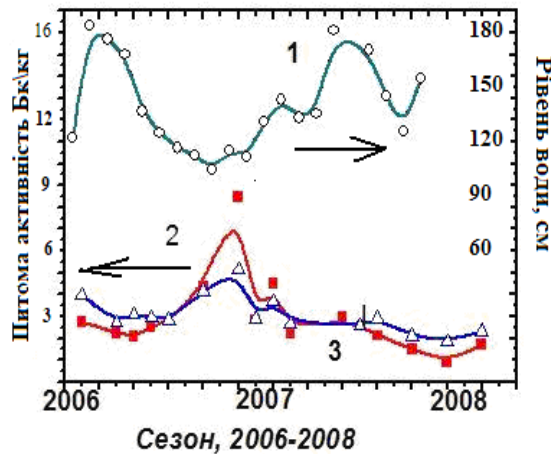


Рисунок 5. а) – Сезонні осциляції питомого вмісту ^{137}Cs у зразках намулів басейну р. Тиса [18]

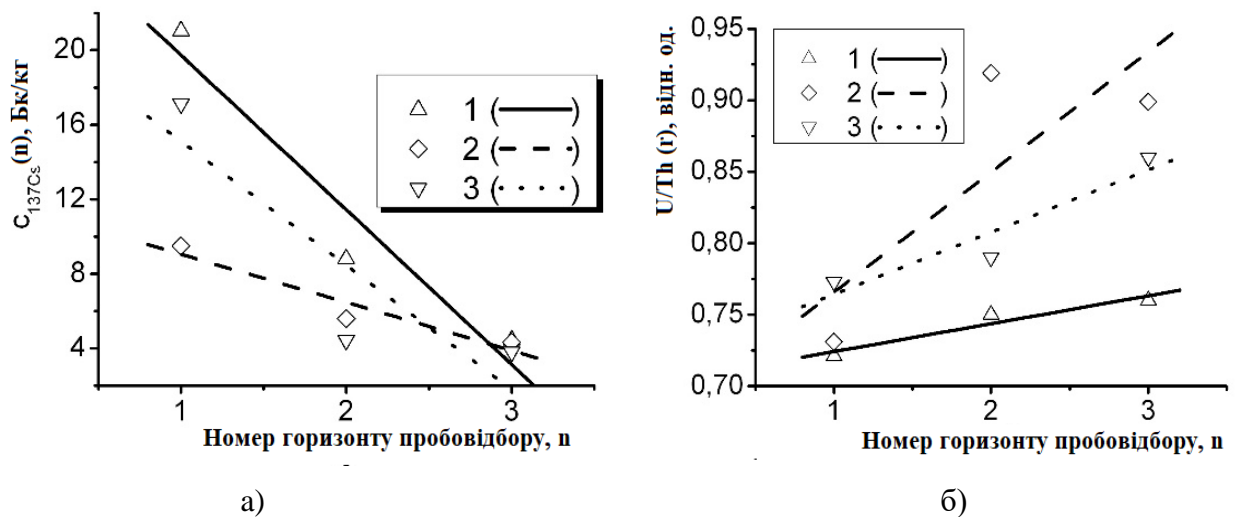


Рис. 6. Залежність питомого вмісту ГАН від глибини пробовідбору $n=1, 2, 3$, відповідно, поверхня, глибина 20 та 50 см: а) – вміст ^{137}Cs ; б) – приведений параметр U, Th компонентів $r=A_{\text{Bi}}^{214}/A_{\text{Pb}}^{212}$. Залежності 1-3 побудовані, відповідно для НПП: «Зачарований край», «Чорне Bagno» та «Іхтіологічний заказник» [19]

Із графіків результатів слідує зменшення вмісту ^{137}Cs та збагачення уранової ГАН в залежності, від глибини / (пониження) точки пробовідбору [21].

8. ВИМОГИ ДО СТАТИСТИЧНОЇ ВАЛІДАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ РАДІОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ВОДНО-ГРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА БАСЕЙНУ р. ТИСА

Систематизація даних радіоекологічного експерименту потребує застосування методів математичної статистики. Так, радіоізотопний склад, встановлений у результаті низькофонових досліджень природної активності зразків довкілля, є дуже складними, а його формування, обумовлено дією різних факторів природного та штучного походження. Оскільки кожний зразок намулу / ґрунту дає інформацію про питомий вміст не одного, а набору ГАН техногенного та природного походження – для систематизації та

узагальнення даних радіоекологічного моніторингу використовують метод багатовимірний статистичний аналіз, який включає в себе кластерний й факторний аналіз. *Кластерний аналіз (КА)* припускає виділення компактних, подібних та віддалених за сукупності їх ознак одна від другої груп об'єктів, де ознаками є питомі активності ГАН. «Подібність» тут розуміється, як близькість об'єктів, формальних векторів у k-вимірному просторі ознак, що встановлюються при радіоекологічних вимірах. У процесі кластеризації об'єктів, необхідно одержати таку розбивку сукупності k- вимірних масивів векторів, щоб кожен об'єкт пробовідбору, належав одній і тільки одній групі, а відстані між об'єктами однієї групи, були значно меншими, у порівнянні з відстанями, L, між об'єктами інших груп. *Факторний аналіз (ФА)* дозволяє виділити та дослідити силу впливу різного роду латентних показників, що формують радіаційні ознаки намулів. У радіоекологічному аналізі це можуть бути фактори природного та техногенного походження. У факторному аналізі вирішуються наступні завдання: встановлення кількості діючих факторів та їх відносну інтенсивність; встановлення признакової структури факторів, тобто, в якій мірі дію того чи іншого фактора впливає на наявність та величину певної ознаки для досліджуваних точок пробовідбору i , нарешті, виявлення факторної структури досліджуваних ознак, або встановлення часток впливу кожного з факторів на значення тієї чи іншої ознаки цього об'єкта [22].

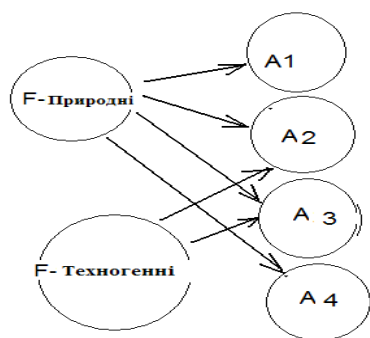


Рис. 7. Схема формування радіоекологічних ознак $\{A_i\}$ під впливом факторів природного і штучного походження

Для екологічного моніторингу водно-грунтового комплексу Карпат це дозволить вирішити – 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.

У якості останніх можуть бути фактори природного походження які формують ГАН ізотопів ^{238}U чи ^{232}Th , космогенні ГАН, фізико-хімічні характеристики ґрунтів, намулів, а також такі техногенні фактори як ядерна зброя, ядерна

енергетика, ядерні технології у медицині та на виробництві.

На *Рис.7* представлено приклад 2-х факторів, що по різному формують ознаки A_i , $i=1,4$.

Так, на ознаки A_2 , A_3 впливають 2-а фактори, на A_1 , A_4 лише один.

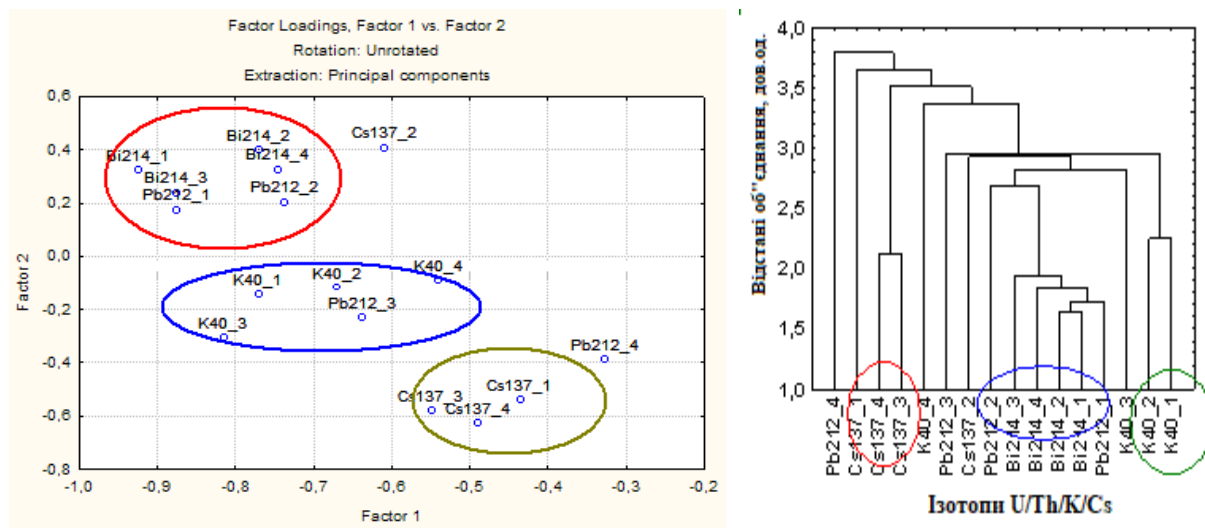
У факторному аналізі вирішуються наступні завдання:

- встановлення кількості діючих факторів та їх відносну інтенсивність;
- встановлення ознакової структури факторів щодо формування кореляційних залежностей ознак A_i , $i=1,4$.

Зауважимо, що вказані статистичні методики використовують закономірності структури кореляційної матриці, що містить сукупність коефіцієнтів парної кореляції між різними ознаками i , таким чином, дозволяють встановити їх внутрішню структуру, характер групування та значимість впливів латентних факторів. Таку ж статистичну

залежність дає коефіцієнт Пірсона, який зручно використати для встановлення кореляції як між ознаками, наприклад, вмістом ГАН, так і характеристиками намулів / ґрунтів.

На *Рис. 8* представлена візуалізація результатів факторного і кластерного аналізу.



а)

б)

Рисунок.8 Результати факторного а) та кластерного б) аналізу ГАН техногенного ($^{137}\text{Cs}_i$) та природного ($^{214}\text{Bi}_i$, $^{212}\text{Pb}_i$, $^{40}\text{K}_i$) походження $i=1,4$ вздовж русла р. Боржава басейну р. Тиса [18, 19]

Аналіз факторного аналізу а) свідчить про різний характер групування техногенних ^{137}Cs та природних (ураново-торієвих рядів та ^{40}K) ізоотопів (кільця не перекриваються), що говорить про слабкий вплив техногенної складової на кореляцію між природними рядами, це говорить про «екологічну чистоту» даного об'єкту дослідження. Аналіз дендрограми б) показують менше значення параметра об'єднання L , – віддалі зв'язку в багатовимірному просторі, що описує геометричне положення точок пробовідбору за питомим вмістом техногенного ^{137}Cs , у низинних ділянках русла р. Боржава. Це свідчить про статистичну близькість точок пробовідбору, за питомим вмістом техногенного ^{137}Cs у низинних ділянках русла р. Боржава (точки 3_4), для природних рядів та ^{40}K статистичну близькість точок пробовідбору найбільша для верхів'я ріки (точки 1_2).

Слід враховувати, що у стані радіоактивної рівноваги питомі активності вказаних ізоотопів однакові й визначаються присутністю материнських радіонуклідів (^{238}U , ^{232}Th). У відкритій системі, якими є річкові замули, радіоактивна рівновага може бути порушена в результаті вимивання водою, механічного переміщення чи хімічної реакції атомів одних членів ряду відносно інших [23]. Однак, суттєве порушення рівноваги можливе лише при переміщенні атомів на відстань, що перевищує розмір системи, і за час, менший, ніж той, що необхідний для відновлення рівноваги. У даному випадку, наявність кластеризації ГАН – «міток» ураново-торієвого рядів вздовж русла ріки може слугувати характеристикою хіміко-геологічних особливостей регіону, де протікає річка.

Результати дослідження вмісту радіонуклідів у водно-ґрунтовому комплексі українських Карпат впроваджено у системі екологічного менеджменту (див. Додаток).

РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року: Закон України від 01.01.2020. [Електронний ресурс]: Відомості Верховної Ради (ВВР), 2019, № 16, ст.70. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>.
2. Вернадский, В. И. Биосфера. Л.: Науч.хим.-техн. изд-во, 1926. 146 с.
3. Барьяхтара В. Г. Чернобыльская катастрофа. К.: Наукова думка, 1995. 560 с.
4. Гущина Д. Ю., Петросянц М. А. Циркуляция скорости ветра в центрах действия атмосферы как показатель количества осадков и температуры в их пределах. II. Анализ взаимосвязей на синоптических масштабах. *Метеорология и гидрология*. 2006. № 6. С. 5 – 15.
5. Парлаг О., Симканич Н., Маслюк В. Методологія радіоекологічного моніторингу за донними відкладеннями рік Закарпаття. *Вісник Львівського університету. Серія: фізична*. Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2009. Вип. 44. С. 206 – 211.
6. Ужанський національний природний парк. Поліфункціональне значення / за ред. С.М. Стойка. Львів: Меркатор, 2008. 306 с.
7. 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.
8. Якість ґрунту. Відбір проб: ДСТУ 4287:2004. [Чинний від 01.07.2005.]. К., Держспоживстандарт України, 2005. 10 с.
9. 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.
10. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов: ГОСТ 12071-2000. [Введ. 01.07.2001]. М.: МНТКС, 2001. 20 с.
11. Сватюк Н.І., Маслюк В.Т., Симканич О.І. Радіологічний моніторинг, поняття: «радіаційна погода» та «радіаційна ідентифікація довкілля». *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Фізика*. № 44. Ужгород, 2018. С. 99 – 108.
12. 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.
13. 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.
14. Низькофонові дослідження ґрунтів та намулів рік Карпат: техногенні та природні фактори / Грабовський В. А., Дзензелюк О. С., Трофимук А. В., Фронтосьєва М. В., Сватюк Н. І., Маслюк В. Т. *Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля*. 2010. Вип.14. С. 126 – 134.
15. Лендел О.І., Парлаг О.О., Маслюк В.Т. Напівемпіричне описання абсолютної ефективності Ge(Li)- та HPGe – детекторів для фотоподільних експериментів. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Фізика*. Ужгород, 2009. № 25. С. 95-99.

16. Симканич О.І., Сухарев С.М., Маслюк В.Т. Оптимізація параметрів вимірювання та оцінка точності визначення гамма-активних радіонуклідів методом гамма-спектроскопії. *Методи и объекты химического анализа*. 2014. т. 9, № 2. С. 88–94.
17. Quantitative Estimations of the Efficiency of Stabilization and Lowering of Background in Gamma-Spectrometry of Environment Samples / Pop O. M., Stets M. V., Maslyuk V. T. *Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences)*. 2015. Vol. 50, №.2. P. 115–122.
18. Сватюк Н.І. Радіоекологічний моніторинг гірських районів Закарпаття: вплив просторових та сезонних факторів на нуклідний склад об'єктів довкілля: дис... к.т.н. за спеціальністю 21.06.01. Київ, 2019.
19. Симканич О.І. Хімічний та радіоекологічний моніторинг важких металів і гамма-радіонуклідів у об'єктах довкілля Закарпаття: дис... к.х.н. за спеціальністю 21.06.01. Київ, 2016.
20. 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; 1/5/2010, Vol. 1204. Issue 1, 2010. P. 263 – 264.
21. 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.
22. Симканич Н.І., Мучичка В.І. Кореляційні та часові залежності вмісту радіонуклідів в намулах гірських рік Закарпаття: 2006 – 2008 рр. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Фізика*. Ужгород, 2009. С. 234 – 238.
23. Svatiuk N., Roman V., Pop O., Simkanich O., Polishchuk V., Glukh O., Pylypchynets I., Maslyuk V. *Low-Background Nuclear Studies of Uranium/Thorium Components of Sediments of The Tisza River Water Basin*. *Acta Montanistica Slovaca*, Volume 26 (2021), Number 4, P.75–85.

10. СЛОВНИК ТЕРМІНІВ

ГАН – гамма-активні нукліди;

ТЕС – Теплоелектростанція;

АЕС – Атомна електростанція;

н.р.м. – над рівнем моря;

ВЗ – внутрішній захист;

GPS – Global Positioning System;

ФОСП – фіксований об'єм та склад повітря;

ССПФ – система стабілізації та пониження фону;

НПП – Національний природний парк;

ВБУ – водно-болотисте угіддя;

ФА – факторний аналіз;

КА – кластерний аналіз.

11. ДОДАТОК



ЗАКАРПАТСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ ДЕПАРТАМЕНТ ЕКОЛОГІЇ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ

пл. Народна, 4, м. Ужгород, 88008, тел.: 61-67-01, 61-55-36, 61-36-89
web-сайт: ecozakarp.at.gov.ua, e-mail: central@ecozakarp.at.gov.ua, код ЄДРПОУ 38766364

17.01.2012 № 58/01

На № _____ від _____

Директору Інституту електронної
фізики НАН України
проф. Гомонай Г.М.

Про впровадження результатів наукового проєкту:
«Радіоекологічний моніторинг вмісту радіонуклідів у водно-грунтовому комплексі українських Карпат: модель прогнозування й запобігання можливим катастрофічним наслідкам»

Цим підтверджую актуальність та практичний інтерес для охорони навколишнього середовища Закарпаття результатів дослідження Сватюк Н.І. на тему: «Радіоекологічний моніторинг вмісту радіонуклідів у водно-грунтовому комплексі українських Карпат: модель прогнозування й запобігання можливим катастрофічним наслідкам», виконаного в ІЕФ НАН України в рамках проєкту дослідницьким лабораторіям/групам молодих вчених НАН України. Результати, отримані при радіоекологічному моніторингу на предмет дослідження мікроелементного та ізотопного складів донних відкладів басейну ріки Тиса, впливу віддалених наслідків катастрофи на Чорнобильській АС, використовувалися нами як вихідні дані для встановлення показників стану цих територій та при підготовці нормативних документів заходів по захисту навколишнього середовища водних ресурсів басейну р. Тиса.

Заступник директора департаменту

Михайло ГАЙДУР

ББК 20.1(4Укр), 20.18

УДК 502/504

Радіоекологічний моніторинг водно-грунтового середовища басейну р. Тиса: навчально-методичні рекомендації / [Н.І. Сватюк, О.І. Симканич, О.М. Поп, В.І. Роман]. – Ужгород: Видавництво ФОП Сабов А.М.; 2022. – 26 с.

НАУКОВО-МЕТОДИЧНЕ ВИДАННЯ

СВАТЮК Наталія Іванівна
СИМКАНИЧ Олеся Іванівна
ПОП Оксана Михайлівна
РОМАН Вікторія Іванівна

Науково-методичне видання публікується 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-грунтовому комплексі українських Карпат: модель прогнозування й запобігання можливим катастрофічним наслідкам».

Інститут електронної фізики НАН України
88017 м. Ужгород, вул. Університетська, 21
тел./факс: (0312) 64-36-50



Формат 60x84/16. Папір офс.
Гарнітура Times New Roman. Друк циф.
Ум. друк. арк. 15,11. Обл.-вид. арк. 14,38.
Наклад 100 прим.

Видавництво «ФОП Сабов А.М.».
м. Ужгород, вул. Університетська, 21/220.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК
№ 4855 від 25.02.2015р.
Друк: ФОП Сабов А.М., тел.: 050-43-22-437

