

<https://doi.org/10.15407/geotech2019.30.070>

УДК 577.41/:577.391

Шевченко О.Л., Долін В.В.

Шевченко О.Л., д.г.н., ст. н. сп., ННІ «Інститут геології» Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, shevch62@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5791-5354>

Долін В.В., д.г.н., проф., ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», vdolin@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6174-2962>

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ ТА ГОЛОВНІ ОЦІНОЧНІ ПОКАЗНИКИ РАДІАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ

Ступінь міграційної активності в навколишньому середовищі техногенних радіоактивних речовин визначається біогеохімічними особливостями ландшафту. На підставі цього твердження представлено геохімічну концепцію моніторингу навколишнього середовища, зокрема, його складової частини – радіаційного моніторингу. Оскільки основним шляхом вторинної міграції за межі радіаційно забруднених територій, зокрема, Чорнобильської зони відчуження є водний шлях, головним об'єктом підсумкової радіоекологічної оцінки такої території повинен виступати водозбірний басейн з його індивідуальним набором ландшафтних ознак, які власне й визначають відмінності у водному винесенні радіонуклідів у межах однієї кліматичної зони. Водозбірний басейн є ідеальним об'єктом, що дозволяє відійти від проблем дискретних оцінок, пов'язаних із нерівномірністю забруднення. Сформульовано дванадцять принципів радіаційного моніторингу, що включають обґрунтування переліку контрольованих (I рівень) та оцінюваних і прогностичних показників II-III рівня, кінцевою метою використання яких є визначення бар'єрної стійкості водозборів у межах впливу радіаційно небезпечних об'єктів. Бар'єрна стійкість інтегрально об'єднує та відображає результат дії усіх конкуруючих процесів (аккумуляції, сорбції, десорбції, розчинення, конвективного перенесення тощо), які відбуваються в ланцюгах: ґрунт – ґрунтоутворюючі породи – підземні води; ґрунт – вододісткі породи – ґрунтові води – поверхневі води; ґрунт – поверхневі води; повітря – ґрунт – рослини і т.п. Запропоновано вважати, що ланцюжки з одним основним донором і одним акцептором є простими, а системи, в яких оцінюється комплексна бар'єрна стійкість за сумарною бар'єрною функцією кількох складових (окремі з них можуть бути донорами й акцепторами одночасно) – складними. Оскільки інтегральним показником ступеню забруднення басейну та його бар'єрних здатностей є величина винесення радіонукліду (Бк/рік) в гирлі основного водотоку, у якості головних моніторингових показників бар'єрної стійкості водозбору та захищеності його водної системи пропонується прийняти частку та модуль водного винесення радіонукліду і характер їх змін у часі.

Ключові слова: радіаційний моніторинг, чинники, геохімічний фон, водне винесення радіонуклідів, ландшафт, радіологічні показники, водозбірний басейн, бар'єрна стійкість.

Вступ. До катастрофи на Чорнобильській АЕС ефективної національної системи радіоекологічного моніторингу практично не існувало [1], якщо не враховувати обліку глобальних радіоактивних випадіннь, який проводився Держкомгідрометом СРСР. Після аварії, завдяки потужній державній фінансовій підтримці, було налагоджено систему регулярних спостережень за радіаційним станом ґрунтів, повітряного, водного та рослинного середовища, а також за перерозподілом техногенних радіонуклідів (РН) в ландшафтах, сільськогосподарській та лісовій продукції тощо. Моніторингові дані склалися не лише з відомостей про концентрацію РН та їх розподіл, але й про форми РН в довкіллі, що забезпечило можливість виконання реалістичних оцінок інтенсивності міграції РН в різноманітних середовищах [1-8].

Проте, починаючи з 2000-2001 рр. відбувалось помітне скорочення фінансування наукової «чорно-

бильської» програми та обсягів радіоекологічного моніторингу. На сьогодні науковий моніторинг, конче необхідний для виявлення закономірностей міграції радіонуклідів і, відповідно, їх реальної та потенційної небезпеки для людини і біоти, без належної фінансової підтримки, так і не отримавши єдиної науково-методологічної основи, повністю відірвався від виробничого моніторингу, розділився на окремі напрямки по різних відомствах.

Ще у 2001 році було зазначено [2], що система моніторингу в Чорнобильській зоні відчуження (ЧЗВ) не забезпечує ефективного прогнозування радіоекологічної та екологічної ситуації, що пов'язано з обмеженим переліком в регламенті моніторингу важливих параметрів і процесів, які визначають направленість та інтенсивність розвитку радіоекологічної ситуації. Також наголошувалось, що «продовження діяльності щодо вивчення, підтримки і посилення

бар'єрної ролі ЧЗВ є найважливішим завданням у напрямку мінімізації наслідків аварії».

Сучасна організація систем радіаційного моніторингу навколо діючих АЕС також є надто формальною і по суті втілює ще одну підсистему технологічного контролю роботи АЕС [1]. Недоліком сучасного радіаційного моніторингу є уособленість показників радіаційного стану, які характеризують лише окремі елементи природної системи (повітря, воду, ґрунт), в той час як взаємні переходи РН з одного елемента в інший цілком очевидні. Тобто, необхідно створити систему показників, яка б дозволяла відстежувати та оцінювати такі процеси перехідної міграції.

В Чорнобильській зоні відчуження, за мізерного фінансування, але наявності радіаційно-небезпечних об'єктів, величезної бази даних режимних спостережень та сучасних лабораторій, на жаль, відсутня єдина система оцінки та прогнозування процесів міграції РН. Більш того, досвід наукових еколого-геологічних досліджень у зоні відчуження практично ніяк не використовується в системах моніторингу на інших АЕС України [1]. В США для вирішення аналогічних, але менш складних проблем, створено дві національні лабораторії. Довготривале невирішення проблем науково-методологічного забезпечення радіаційного моніторингу довілля може призвести до ускладнення багатьох із них, знижуючи ефективність моніторингу, в тому числі і в прогнозуванні наслідків процесів міграції та винесення радіонуклідів за межі буферних зон АЕС. Необхідно якомога швидше розробити концепцію моніторингу навколишнього середовища в регіонах АЕС і методичне керівництво з контролю навколишнього середовища регіонів АЕС, яке відповідає цій концепції [1].

В системі державного моніторингу навколишнього природного середовища, на жаль, також спостерігаються подібні недоліки. За чітко прописаного регламенту та технічного і методичного забезпечення, у ній відсутня сучасна універсальна методологічна основа та достатньо гнучкі принципи, які б дозволяли поєднати різномірну інформацію з різних тематичних напрямків моніторингу та робити узагальнюючі висновки про ризики та загрози, що виникають під впливом локальних та регіональних явищ на фоні глобальних змін природної обстановки. Різні види тематичного (відомчого) та навіть державного моніторингу не лише не пов'язані між собою (наприклад, геофізичний, гідрологічний та гідрогеологічний моніторинги), а й виконуються за різним регламентом (періодичністю спостережень), методикою, з отриманням неспівставних показників тощо. Так, для виявлення впливу сейсмічних коливань (з утворенням нових тектонічних порушень) на рівень води та швидкість поширення РН в підземних водах карстових басейнів доводиться проводити спеціальні дослідження,

а регіональний вплив глобального потепління на ресурси ґрунтових вод загалом важко кількісно оцінити та обґрунтувати за практично повної відсутності спряжених створів по свердловинах і відкритих водоприймачах.

Аналіз літературних джерел. В роботі [10] висвітлюються нормативно-правові аспекти радіаційного моніторингу (РМ), його мета й задачі, термінологічні визначення, регламент та склад спостережних мереж довкола АЕС. В ній також наголошується, що «мережа пунктів контролю радіаційної обстановки в районах розташування АЕС України не відображає особливостей навколишнього середовища та не забезпечує високого представництва і однаково достатньої точності результатів вимірювань». Проте, в цій та інших [11] роботах розглядаються переважно технічні недоліки автоматизованих систем контролю радіаційної обстановки. У них не зачіпаються проблеми наукового супроводу, методології обробки та інтерпретації результатів спостережень. На нашу думку, отримувати в процесі *виробничого* моніторингу дані могли б забезпечувати більш вагомими результатами та висновками, більш сучасні та досконалі прогностичні побудови. Отже, система *наукового* моніторингу [21] в області РМ не розвинена, працює неефективно [1], її методологія недостатньо використовує новітні розробки, що вимагає серйозного доопрацювання.

Мета даної роботи полягає в розробці єдиних методологічних принципів радіоекологічного (радіаційного) моніторингу, як складової державного моніторингу навколишнього середовища; в обґрунтуванні нових репрезентативних територіальних одиниць та системи параметрів, які б визначали бар'єрні здатності ЧЗВ та територій навколо інших радіаційно небезпечних об'єктів, дозволяли вирішувати більш широкий, ніж за нинішньої системи РМ, спектр задач та далекоглядні стратегічні завдання.

Основні концептуальні положення. Ми вважаємо, що для системи *радіоекологічного* моніторингу, який повинен підпорядковуватись загальнодержавному моніторингу навколишнього середовища, методологічна парадигма повинна розвиватись *на засобах контролю і прогнозування шляхів та обсягів поширення радіонуклідів у навколишньому середовищі та надходження їх до людини*. Контроль безпечної експлуатації АЕС, сховищ РАВ та інших подібних об'єктів повинен виконуватись службою об'єктового або локального РМ. Найкращим для людини сценарієм поведінки радіонуклідів в навколишньому геологічному середовищі було б їх виключення із трофічних ланцюжків або повне незворотне депонування в абіотичних складових. Виходячи з цього, одним з головних критеріїв доцільності розміщення та безпечної (з

урахуванням проектних аварійних ситуацій) експлуатації АЕС та інших радіаційно небезпечних об'єктів повинна бути висока бар'єрна здатність навколишнього середовища. Дійсно, основна функція буферних або санітарних зон навколо АЕС і, в першу чергу, зони відчуження ЧАЕС, полягає в утриманні радіоактивного забруднення, яке виноситься переважно водним шляхом (до 85% від загального винесення) [2,3,12]. З досвіду оцінки міграційної активності радіонуклідів в Чорнобильській зоні відчуження (ЧЗВ) [4-9, 12-15] випливає, що рівень вторинного забруднення водного середовища (а також рослинницької продукції) вже через 10 років після радіоактивного забруднення поверхні визначається не стільки ступенем забруднення ґрунту, як власне біогеохімічною обстановкою або природним геохімічним фоном та особливостями природно-техногенних ландшафтів. Отже, на нашу думку, система радіоекологічного моніторингу, виконуючи контроль за показниками водного винесення у співставленні з ландшафтно-геохімічними характеристиками водозбору, здатна здійснювати комплексну оцінку бар'єрних здатностей територій, що зазнають радіоактивного забруднення, та вирішувати значно більш широкий спектр завдань з метою надання завчасних превентивних висновків про найбільш вірогідну поведінку основних РН за яких завгодно можливих обсягів викиду їх у навколишнє середовище.

Пряме первинне забруднення водних екосистем виникає досить рідко (крім замкнених водоймищ-охолоджувачів), до того ж триває недовго, тому при виділенні і обґрунтуванні показників тривалих моніторингових спостережень доцільно розглядати процеси вторинного забруднення водотоків та водойм після розподіленого забруднення водозбірних площ. В цьому сенсі водозбірний басейн та водоприймач є оптимальними об'єктами, що дозволяють відійти від проблем дискретних оцінок, пов'язаних із нерівномірністю забруднення (на кшталт «чорнобильського») та оцінити здатність середовища до його депонування і асиміляції. Важливо також, що річка та водозбірний басейн забезпечують перехід від локального на регіональний рівень радіоекологічних оцінок.

По відношенню до забруднюючої речовини в середовищі виділяються депонуючі (статичні) елементи та динамічні. Проте не всі статичні елементи ландшафту лише накопичують РН. Наприклад, певні типи ґрунтів, маючи сприятливі для міграції РН влас-

тності, відіграють роль донорів в ланках ґрунт-вода, ґрунт-рослина. На забруднених територіях (де культурні рослини не вирощують), головним акцептором та транзитером РН лишається водна динамічна система. На нашу думку, саме концентрація РН у водоприймачі є інтегральним показником та головним результатом усіх гео- та біогеохімічних процесів, до яких залучаються радіонукліди на водозборі (табл.1). Очевидно, що чим краще ландшафт водозбору виконує депонуючі функції, тим меншою буде концентрація РН у воді та його винесення за межі басейну. Така здатність ландшафту або водозбору характеризує його ступінь бар'єрної стійкості по відношенню до певного РН. За бар'єрною стійкістю можна характеризувати також окремі елементи, що мають депонуючі властивості, наприклад ґрунт, донні відклади. Якщо ж мова йде про динамічні елементи, такі як вода або повітря, їхню реакцію на забруднення слід характеризувати такими поняттями як буферність, швидкість розсіювання (дисипації) або самоочищення (автореабілітації).

Важливо враховувати й форми перебування РН в складових водного балансу водотоку: Р – розчинні, З – завислі, О – обмінні, КР – кислоторозчинні, Ф – фіксовані (табл. 1). Очевидно, що певні складові балансу можуть ідентифікуватися саме за фізико-хімічними формами РН і навпаки [13]. Наприклад, збільшення розчинних форм в сумарному поверхневому стоці річки, без помітної зміни внутрішніх та зовнішніх умов, може свідчити про зростання внеску ґрунтових вод в загальному балансі стоку. В окремі роки сукупна роль ландшафтних чинників або динаміки водообміну в асиміляції рухливих РН в ґрунтах і водному середовищі є порівнюваною або більшою за значення природного розпаду в процесах самоочищення. Як відомо, самоочищення за рахунок природного розпаду ^{90}Sr щорічно складає близько двох відсотків від його запасів на водозборі. Частка щорічного водного винесення найбільш рухливого радіонукліду – ^{90}Sr впродовж 2005-2015 років щонайменше складала 0,013%, а щонайбільше – 0,16 % від його запасів на водозборі [13]. В роботі [16] відмічалось, що швидкість самоочищення від ^{137}Cs агроєкоценозів, які знаходяться у сільськогосподарському використанні, у 10 разів вища за швидкість природного розпаду цього РН, а від ^{90}Sr – майже в 3,5 рази.

Таблиця 1. Загальна структурна організація контрольованих показників середовища
Table 1. The overall structural organization of controlled environmental indicators

Елемент середовища міграції (об'єкт первинного чи вторинного забруднення; в окремих випадках - джерело вторинного забруднення)			Радіаційний показник	Чинник перенесення, мобілізації або іммобілізації РН – характеристика умов ландшафтно-геохімічної обстановки	Параметризований показник*, що характеризує чинник	Процес забруднення, переходу, закріплення, розсіювання, механізм впливу	Переважаючі форми РН, які залучаються до процесу	Коефіцієнт кореляції між рад. показником (2) для ⁹⁰ Sr і чинником (3)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ВОДОЗБІРНИЙ БАСЕЙН	ПОВЕРХНЄВІ ВОДИ	ЛОКАЛЬНИЙ і точковий РІВЕНЬ ВОДНИЙ ОБ'ЄКТ (річка, канал, озеро і т.п.)	Концентрація у воді, Бк/дм ³	Співвідношення поверхневої та підземної складових живлення	відсоток ґрунтового живлення в загальному	Розбавлення або привнесення розчинних форм	Переважно Р	
					відсоток поверхневого стоку в загальному	Надходження з атмосферними опадами, сорбція/десорбція донними відкладами; вилуговування з укосів при затопленні; вимивання з укосів дощем та талим стоком, вихід із гідробіонтів що розкладаються; сорбція/десорбція із завислих речовин	Р, З (колоїдні; псевдоколоїдні)	
				Лужність (кислотність)	рН	кислотне вилуговування	КР, О та Р	-0,4...-0,88**
				Вміст легкорозчинної органічної речовини	Окиснюваність (ПО)	надходження органічної речовини з боліт та при вимиванні з ґрунту, розкладання гідробіонтів	О в завислій формі, Р	0,61-0,94
					БО, вміст гумусових кислот			
				Інтенсивність стоку (течія)	Швидкість витрата	вимивання, перемішування	Зависі, розчин	0,33-0,77
				Зарегульованість водотоку	Шорсткість	Вилуговування із затоплених укосів	О, Р	
				Хімічний склад	вміст стабільних носіїв або хім. конкурентів	реакції обміну, гідроліз	О в завислій формі, Р	
				Рослинні гідробіонти	Склад та ступінь заростання	поглинання	Р	
ЛАНДШАФТИ	В МЕЖАХ БАСЕЙНІВ РІЗНИХ ПОРЯДКІВ (об'єктовий, локальний, регіональний рівні)	Водне винесення, кБк; модуль водного винесення, ГБк/рік/км ²	Щільність гідрографічної мережі		Інтенсивність дренажу (водовідведення)	Р; О	0,8-1,0 0,2-1,0	
			Заболочення	Відносна площа боліт (% від площі водозбору)	Вилуговування (вимивання) із забруднених укосів каналів та затоплених заплав річок	Р; О	0,28-0,65	
			Глибина ерозійної розчленованості		Затоплення заплав (злив), винесення завислої речовини	Р; О		
			Підземний стік	Ступінь дренажності, тис. м ³ /га/рік Частка підземного стоку в загальному; Модуль підз. стоку	Вимивання із ґрунтів зони аерації	Переважно Р	0,3-0,87	
			Ґрунт	Відносна площа поширення , %: органічних ґрунтів	Зв'язування в слаборухливі гуматні комплекси та добре рухливі фульвокомплекси	Ф, КР, О, Р	0,16, 0,34-0,46	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
				Грунт	органо-мінеральних ґрунтів	Вимивання, вилуговування, сорбція, комплексоутворення	Ф, КР, О, Р	-0,21... -0,38
					кислих ґрунтів	Вилуговування	Переважно Р О	0,2-0,5 -0,15...0,98
					нейтральних ґрунтів	Утримання	О, Р	-0,88...-0,91
				Ліс	Відносна площа, %	Біологічне поглинання з розчином	Переважно Р; О	-0,3...-0,7 -0,1...-0,4
				Меліорованість	Відносна площа МС на водозборі	Штучно інтенсифіковане водне винесення або зарегулювання	Переважно Р; О	0,2-0,6 -0,5...+0,58
				Мікрорельєф	Відносна площа сухих западин; кількість перезвожених западин; співвідношення площ водозбору і заплави	Фільтрація через аномальні зони	Переважно Р; О	0,8-1,0 0,5-0,9 -0,3...0,84
ГРУНТОВІ ВОДИ	В МЕЖАХ БАСЕЙНІВ РІЗНИХ ПОРЯДКІВ (балансові майданчики, водозбори осушувальних каналів, річок і їх приток)	Концентрація радіонуклідів у воді	Зона аерації (ЗА), в т.ч.	Потужність зони аерації (ЗА)	Конвективне перенесення з врахуванням фактора затримки	Р		
			літологічний і гранулометричний склад ЗА мінеральний склад ЗА ґрунти	дисперсність: вміст фракцій < 0,001 мм	Сорбція/ десорбція	Р		
				вміст монтморилоніту, бентоніту, каоліну		Р		
				співвідношення мінеральної та органічної складових		Р		
			літологічний склад водомістких порід	дисперсність: вміст фракцій < 0,001 мм	Сорбція/ десорбція	Р		
			Хімічний склад води	Вміст елемента аналога, споріднених аніонів, рН	Обмінні процеси	Р		
			Западини	Відносна площа, %	Фільтрація через аномальні зони	Р		
			Водне винесення	Фільтраційні властивості порід	Коефіцієнт фільтрації, звивистість порового простору, n_a ***	Конвективне перенесення, дисперсія та дифузія	Р	
				Літолого-мінеральний склад водомістких порід	Фактор затримки	Обмінні процеси, сорбція	КР, О, Р	
				Вертикальна розчленованість	Градiєнт потоку	Латеральний рух під дією гравітаційних сил (гідродинамічного напору)	Р	
M_e, b_n ****	Дренованість	Ступінь дренованості	Вимивання під дією промивного режиму, лесиваж, суфозія	Ф, КР, О, Р				

* При використанні даного підходу для певної території, таблиця доповнюється окремою колонкою: «Кількісне значення показника»;

** - Значення коефіцієнтів в колонці 7 визначено в докторській дисертації О.Л. Шевченка [13]; відсутність цих коефіцієнтів свідчить про недостатню їх обґрунтованість або брак даних;

*** n_a – активна пористість; **** M_e – модуль винесення; b_n – частка винесення.

Досконала система моніторингу повинна на виході надавати інформацію про кількісні переходи забруднювача в ланцюжках, кожна з ланок яких несе у собі ризик опромінення людини зовнішнім, інгаляційним або пероральним шляхом. Ланцюжок контрольованих та оцінюваних радіологічних показників можна представити наступним чином: 1. (показники вмісту РН у елементах: ґрунті, повітрі, воді, рослинності) – 2. (показники переходу з одного елемента в інший) – 3. (показники, що характеризують ступінь затримки, фіксації або розсіювання, асиміляції чи дисипації забруднювача, тобто дозволяють оцінити бар'єрні і асиміляційні властивості середовища) (табл.2, рис.1).

Перша група – це прямі показники, що безпосередньо визначаються апаратним шляхом або відбором проб та їх аналізом. Наприклад, для всіх АЕС та пунктів захоронення радіоактивних відходів (ПЗРВ) це можуть бути: експозиційна доза опромінення, гамма-фон в приземному шарі, рівень дії або концентрація радіонукліду в повітрі житлових чи службових приміщень; для поверхневих і підземних водних джерел – концентрація радіонукліду у воді (для порівняння окремих водних джерел), водне винесення радіонуклідів за межі санітарних зон радіаційно-небезпечних об'єктів.

Друга група – показники, що вираховуються з даних першої групи (табл.2) і демонструють *перехід між суміжними ланками* ланцюжка міграції РН. Наприклад, модуль водного винесення [17], що демонструє зв'язок між біогеохімічним комплексом аеральних ландшафтів водозбору та водоприймачем. Або коефіцієнт переходу, що пов'язує поглинаючий комплекс ґрунту із рослиною.

Третя група – показники, що характеризують асиміляційний потенціал ландшафтно-геохімічної системи водозбірної басейну, або біогеохімічні функції елементів середовища у «стосунках» із забруднювачем. До кількісних характеристик третьої групи можна віднести модуль гранично допустимого забруд-

нення, – як показник екологічної ємності та захищеності від забруднення [18], інтенсивність або темпи автореабілітації. До третьої групи відносяться не лише кількісні характеристики, а й якісні, в т.ч. такі, що оцінюються в балах на основі множинного кореляційного аналізу [19], наприклад: бар'єрна стійкість, асиміляційний потенціал, ступінь захищеності та вразливості підземних і поверхневих вод тощо.

Бар'єрна стійкість є тим показником, який поєднує окремі елементи середовища або ландшафту в ланках: *ґрунт-ґрунтоутворюючі породи*-підземні води; *ґрунт-водомісткі породи*-ґрунтові води-поверхневі води; *ґрунт-поверхневі води*; повітря-*ґрунт*-рослини і т.п. (тут курсивом виділено елементи для яких оцінюється бар'єрна стійкість, а звичайним шрифтом – елементи середовища по відношенню до яких вона оцінюється). Системи або ланцюжки з одним основним донором і одним акцептором будемо називати простими, а системи, в яких оцінюється комплексна бар'єрна стійкість за сумарною бар'єрною функцією кількох складових – складними. В простих ланцюжках (системах) перехід від донора до акцептора можна описати одним-двома процесами та відповідними показниками і параметрами. Прості ланцюжки забезпечують визначення окремих процесів вторинного забруднення, тобто у загальній схемі визначення основного шуканого показнику – бар'єрної стійкості, вони виконують, як правило, допоміжну роль.

Головним об'єктом підсумкової радіоекологічної оцінки забрудненої або потенційно-забрудненої території довкола радіаційно небезпечних об'єктів повинен бути водозбірний басейн з його індивідуальним набором ландшафтних ознак, а головними інтегральними показниками бар'єрної стійкості водозбору та захищеності його водної системи, – частка та модуль водного винесення РН (величина винесення приведена до площі) і характер їх змін у часі [20]. Звісно, що до завдань РМ також входять спостереження за станом повітряного середовища (рис.1), проте у форматі однієї статті цей аспект неможливо розглянути детально.

Таблиця 2. Радіоекологічні (в т.ч. прямі радіаційні) показники середовища, що повинні контролюватись та оцінюватись системою радіаційного моніторингу

Table 2. Radioecological (including direct radiation) environment indicators that should be monitored and evaluated by the radiation monitoring system

Елементи природної системи	Прямі показники I групи (рівня)	Система пов'язаних елементів	Показники переходу (II група)	Допоміжні нерадіаційні показники	Показники III групи
1	2	3	4	5	6
Повітря (атмосфера)	Вміст РН	Повітря-грунт (проста система)	Швидкість осідання аерозолів Пилопідйом за сталої сили вітру	Сила вітру; тиск; іонізація, вологість; температура; вміст аерозолів, кількість опадів; коефіцієнт дефляції	Коефіцієнт пилопідйому (стійкість ґрунту до дефляції)
	Гама-фон				
Об'ємна активність опадів (дощу, снігу)					
Ґрунти зони аерації (ненасичена зона)	Основні: Валовий вміст РН в кореневмісному шарі	Повітря + волога – органігенний ґрунт – ненасичена материнська порода	Коефіцієнт розподілу (K_d); Коефіцієнт затримки; Швидкість масо-перенесення	Сталі показники: Уніфікований тип ґрунту: (мінеральний, органічний, органічно-мінеральний). Для мінеральних ґрунтів: легкі, важкі. Потужність зони аерації (середня). Потужність власне органігенного шару; вміст органічної речовини у верхньому шарі ґрунту (%); Кислотність (рН) Вміст стабільного аналогу (Са – для ^{90}Sr , К – для ^{137}Cs) і т.п.	-
	Вміст обмінних форм РН в кореневмісному шарі				
	Додаткові: Пошаровий валовий вміст РН Щільність забруднення поверхні				
Ґрунтоутворюючі породи (насичена зона)	Вміст обмінних форм (питома активність)	Ґрунт ЗА - ґрунт насичений-ґрунтові води (проста система)	Коефіцієнт розподілу; Фактор затримки (R); швидкість конвективного (для розчинених форм) перенесення; коефіцієнт вимивання з ґрунту в ґрунтові води,	Сталі показники: Літологічний склад (пісок, супісок, суглинок, глина тощо); коефіцієнт фільтрації, активна пористість, гравітаційна водовіддача; Об'ємна вага породи	-
Ґрунтові води	Об'ємна активність			Динамічні показники: об'ємна вологість, коефіцієнт вологоперенесення; інфільтраційне живлення	
Потік (свердловина або ствір свердловин)	Питоме виносення РН			Динамічні показники: РГВ, коефіцієнт інфільтрації, інфільтраційне живлення, модуль підземного стоку	

1	2	3	4	5	6	7
	Водозбірний басейн г підземних вод	Винесення РН ґрунтовими водами з водозбору	Площа водозбору- Ґрунтові води (складна система)	Модуль підземного винесення РН до водоприймача Частка винесення у загальному	Сталі показники: Тип ґрунту, склад зони аерації; площа провідних западин; характер розлинового покриття Динамічні показники: РГВ, дренаваність; наявність закритого дренажу; бічний відтік, інфільтраційне живлення	Захищеність ґрунтових вод; Вразливість ґрунтових вод
Поверхневі води	Водотік (водоприймач)	Основні (обов'язкові): Об'ємна активність РН в річковому стоці* Водне винесення за рік Додаткові: Об'ємна активність РН в площинному стоці зі схилів	Поверхня ґрунту-поверхневі води* (проста система)	Коефіцієнти змиву в розчиненому стані та на суспензії Інтенсивність рідкого змиву Частка площинного змиву атмосф. опадами у заг.-му винесенні водотоком (Кваг.) Коефіцієнти вилуговування із затоплених укосів Частка надходження за рахунок вилуговування при затопленні (К ваг.)	Інтенсивність опадів; Задернованість укосів (характер поверхні); коефіцієнт стоку; кут закладання укосу, шорсткість русла; вміст органічної речовини у воді (ПО, БО)	Вагові коефіцієнти (Кваг.) на основі вирішення балансу концентрації РН у водному об'єкті (локальний рівень)
		Об'ємна активність донних відкладів	Донні відклади-поверхневі води * (проста система)	Коефіцієнти розподілу; Коефіцієнти сорбції/десорбції; Гradient концентрації; Частка десорбції (К ваг.)	Коефіцієнт дифузії, Речовинний склад, Зольність; Концентрація РН в придонному шарі води	
	ВОДОЗБІРНИЙ БАСЕЙН	Водне винесення за рік Накопичення в компонентах ландшафту	ВОДОЗБІРНИЙ БАСЕЙН (складна система)	Модуль винесення РН Частка винесення поверхневим стоком з водозбору/рік	Частка підземного стоку в загальному; Частка поверхневого стоку в загальному; Дренаваність; Меліорованість; Зарегульованість; Відносна площа лісу, луків; густина гідрографічної мережі; відносна площа різних типів ґрунтів, Западин, водозбору та заплави; глибина розчленування рельєфу	Бар'єрна стійкість (регіональний рівень)
Атмосфера			Повітря-поверхневі води (проста система)	Частка надходження з атмосф. опадами (К ваг.)	Кількість опадів, Хімічний склад опадів, Коефіцієнт поверхневого стоку	-
Рослини		Питома активність біомаси	Ґрунт-рослина (проста система)	Коефіцієнти переходу з ґрунту, Коефіцієнти накопичення з ґрунту	Видовий склад рослинності, вага сухої маси, вага та питома активність і щільність забруднення ґрунту	Екологічна ємність, бар'єрна стійкість до переходу в рослини

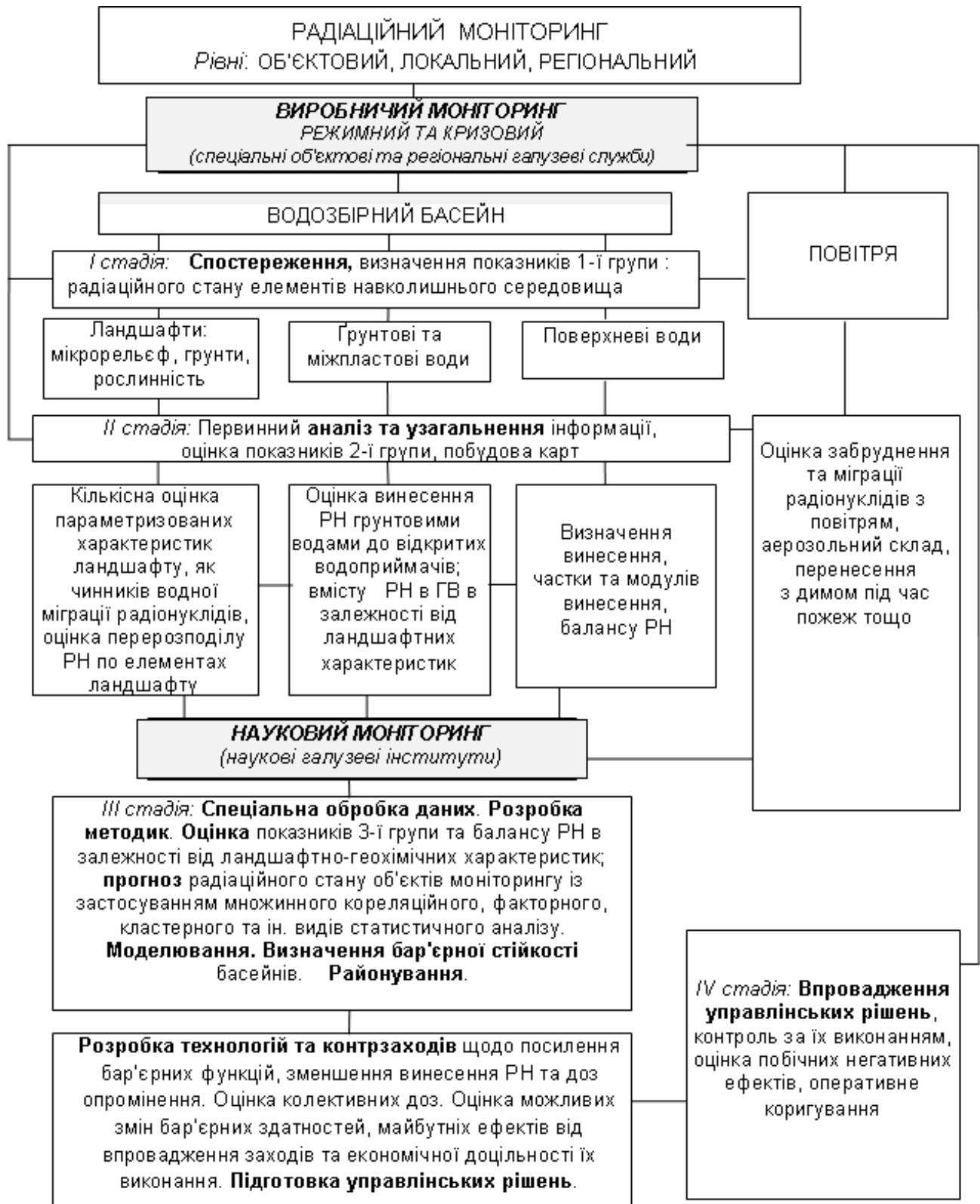


Рис. 1. Структура РМ для об'єктового, локального та регіонального рівнів з виділенням об'єктів та завдань виробничого і наукового моніторингу

Fig. 1. RM structure for object, local and regional levels (RAW, NPP, Chernobyl Exclusion Zone, etc.) with the selection of objects and tasks of production and scientific monitoring

Головним завданням РМ є оперативний контроль шляхів надходження природних і штучних РН в організм людини з метою своєчасного виявлення понаднормових значень показників радіаційного стану середовища для обґрунтування та проведення заходів щодо зменшення негативного впливу іонізуючого опромінення (рис.1).

Одним з основних оцінюваних показників, а отже – **предметом досліджень** моніторингу, повинна бути **бар'єрна стійкість** середовища до водного, повітряного та біологічного винесення РН. Парадигма такого моніторингу може бути описана логічно пов'язаною низкою **положень**, що включає вищезгадані традиційні складові моніторингу:

1. РМ відповідає за неперевищення нормованої дози опромінення населення шляхом контролю таких основних джерел надходження дозоутворюючих РН в організм людини: а) повітря; б) вода; в) ґрунт; г) рослини (через ґрунт та/або воду при зрощенні), д) будівельні матеріали або самі будівлі житлового та службового призначення. Ці контрольовані джерела є основними **об'єктами спостережень**; розглядаються як ланки трофічних ланцюжків, а також як ланки вторинної міграції РН після безпосереднього (первинного) забруднення однієї з них.

2. Характер та ступінь накопичення забруднюючих речовин у воді, ґрунті і рослинності визначається комплексом показників природної обстановки, або **природним геохімічним фоном**; на цьому базується **геохімічна концепція моніторингу** навколишнього середовища.

3. **Природний геохімічний фон** описується серією відносно сталих (показники рельєфу, типи ґрунтів, щільність западин та гідрографічної мережі тощо) та мінливих або динамічних характеристик (рівень ґрунтових вод (РГВ) тощо), набір яких для окремих джерел надходження та різних поллютантів (радіонуклідів) відрізняється (табл.2).

4. **Методологія моніторингу** повинна спиратись на **єдину геохімічну концепцію** та спільні принципи, головними з яких є «тісний взаємозв'язок між окремими джерелами надходження дозоутворюючих РН в організм людини» та принцип за п.2 даних положень.

5. Головною територіальною одиницею радіологічного оцінювання або **таксоном** повинен бути **водозбірний басейн**, в межах якого відбувається відносно замкнений цикл геохімічної міграції елементів з винесенням до єдиної дрени (або фіксацією на водозборі). Виділяють **рівні моніторингу**: державний, регі-

ональний, локальний, об'єктовий [21]. Державний моніторинг носить більшою мірою статистичний, узагальнюючий характер, а основні дослідження, оцінка і аналіз виконуються на регіональному, локальному та об'єктовому рівнях. Відповідно до цих рівнів об'єктами оцінки повинні бути водозбірні басейни річок різного рангу.

6. **Критеріями оцінки** радіоекологічної, екологічної та ін. обстановки повинні бути єдині **нормовані показники** (вмісту РН у компонентах середовища), а також ступінь забруднення об'єктів дослідження, швидкість трансформації (мобілізації, іммобілізації) радіоактивних речовин; ступінь бар'єрної стійкості, буферності тощо, що дозволяє **визначати, оцінити та ранжувати за пріоритетністю** головні **природно-техногенні чинники** впливу на **радіоекологічні показники**, порівнювати об'єкти за інтенсивністю самоочищення (автореабілітації) тощо.

7. **Методи моніторингових досліджень** визначаються тим, які **показники** необхідно отримати в результаті проведення всього комплексу досліджень.

8. **Показники** (в даному випадку **радіоекологічні**) для всіх об'єктів однієї тематичної групи моніторингу повинні бути однаковими та мати три рівні. **Перший рівень** – **прямі показники** вмісту забруднювача (РН) в складових елементах середовища (**об'єктах спостережень**). **Показники другого рівня** характеризують **перехід забруднювача** з одного елемента середовища в інший. Вони доповнюються **показниками (ознаками)**, що характеризують **середовище міграції** (геохімічний фон) [10,11]. **Третій рівень** – показники що є головним предметом досліджень і характеризують бар'єрні і асиміляційні властивості середовища по відношенню до кожного з поллютантів.

9. **Регламент моніторингу** визначається характером мінливості радіологічних показників та чинників, що впливають на їх зміни.

10. **Профілактичні (превентивні) заходи** не передбачають корінних змін навколишнього середовища, а спрямовані на **посилення бар'єрних та автореабілітаційних біогеохімічних функцій ландшафту**: заліснення території; фіторе mediaція через біоплато в поверхневих водотоках; переведення поверхневого стоку у фільтраційний через поля фільтрації посилені геохімічними бар'єрами тощо. Отже, контрзаходи полягають у **цільовому, вузько спрямованому коригуванні** найбільш впливових чинників міграції, що дозволить **максимально знизити інтенсивність процесів** вторинного радіоактивного забруднення та мінімізу-

вати винесення РН за межі територій первинного забруднення.

11. Проведенню упереджуючих заходів щодо посилення бар'єрних функцій санітарних зон (в режимі експлуатації об'єкта) та оперативних заходів на території забруднення (після аварійної ситуації) повинне передувати встановлення головних чинників впливу на радіоекологічні показники та реалістичне прогнозування. Доцільність заходів можна вважати високою, якщо дія на визначальний чинник супроводжується суттєвим зниженням радіологічних показників, заходи є не надто витратні та не являють загрози для персоналу, що їх виконуватиме. За високої розрахункової швидкості природного самоочищення середовища заходи не доцільні.

12. Математичні моделі прогнозування радіоекологічної обстановки повинні базуватись не лише на поточних параметрах геохімічного середовища міграції (масоперенесення) радіонуклідів (в т.ч. після можливих аварійних ситуацій), а враховувати очікувані зміни середовища, пов'язані із глобальними трендами (глобальне потепління; кислотні дощі, можливість бурхливих повеней, підтоплення або переосушення, ризик сейсмічних явищ тощо).

Найбільш впливові чинники міграції (див. п.10) визначаються за ваговими коефіцієнтами (Кваг.). Для останніх пропонується три градації, або три рівні верифікації: на першому, локальному рівні вагові коефіцієнти визначаються для різних процесів вторинного радіоактивного забруднення поверхневих вод виходячи з їх відсоткового внеску в забруднення (див. табл. 2); на регіональному рівні вони визначаються для чинників міграції за коефіцієнтами кореляції між кількісними значеннями цих чинників та водним винесенням РН з площ басейнів за кожен рік (див. табл.1) і далі, в якості Кваг. чинникам впливу призначаються оціночні бали за процедурою кваліметрії [19].

Очевидно, що за таких підходів науковий моніторинг буде найбільш ефективним після набору статистично значущого обсягу інформації, - не менш ніж за 7 років. Саме цим пояснюється позиція наукового моніторингу в блок схемі на рис. 1. Виконання ретроспективного аналізу хронологічних змін коефіцієнтів кореляції дозволить виявляти основні тенденції та причини мінливості водного винесення РН за межі басейнів і будувати регресійні моделі. Якщо коефіцієнт кореляції між винесенням і певним чинником з роками суттєво зменшуватиметься, то для регресійної моделі слід обирати інший чинник (чинники). За часовими змінами кореляційного зв'язку між водним винесенням забруднювача з території певного басейну та окремими характеристиками цього басей-

ну можна буде виділяти етапи, які пов'язані з певними змінами гідрометеорологічних умов або домінуванням забруднювача в інших міграційних формах.

Отже, на відміну від існуючих більш вузьких трактувань [1,5,10,21], ми пропонуємо розширити поняття моніторингу і вважати, що *радіаційний моніторинг* – це *багатофункціональна* система контролю (рис.1), яка передбачає оцінку та прогноз, як радіаційних показників стану *взаємопов'язаних елементів* природної системи, так і *інтегральних показників (геохімічних характеристик)* стану всієї системи, що *характеризують бар'єрні та асиміляційні особливості* ландшафтних підрозділів. Склад та геохімічні особливості ландшафтів в межах кожного водозбору визначають різну здатність водозборів до утримання радіонуклідів. Якщо вона достатньо висока, то природна система здатна втримати більшу кількість радіонуклідів до межі власного асиміляційного потенціалу. Звідси випливає, що при реагуванні на незадовільні радіаційні показники, що контролюються моніторингом, необхідно в першу чергу розраховувати на природну утримуючу здатність і лише за низького її рівня переходити до контрзаходів.

Санітарні зони об'єктів-забруднювачів, що працюють у звичному безаварійному режимі, відносяться до *локального рівня моніторингу*. В першу чергу необхідно визначити їх реальну конфігурацію, - вона може виявитися неправильної форми або ширшою, ніж нормативно встановлені 30 км. До природних характеристик зони впливу радіаційно небезпечного об'єкта слід додати *техногенні показники самого об'єкта* і навколишньої території: 1) специфіка самого об'єкта (АЕС, поховання відходів, ТЕС, гірничорудний або збагачувальний комбінат тощо), в т.ч. за приналежністю до певної галузі, характером експлуатації, переважаючими видами і фізичними формами забруднюючих речовин; 2) перелік основних дозоутворюючих РН, пов'язаних з його функціонуванням, 3) характер впливу об'єкта на навколишнє середовище, який визначається характером викидів та основними компонентами, що забруднюються (грунт, повітря, поверхневі чи підземні води). Така класифікація змушує акцентувати увагу на основних шляхах надходження РН в організм людини, трофічних ланцюжках та їх ланках. Мається на увазі, що окремі об'єкти, в силу специфіки діяльності, забруднюють лише поверхневі води, або тільки повітря (а згодом, через нього і грунт), або підземні води. Використовується той же метод оцінки стійкості території до радіоактивного забруднення, що і на регіональному рівні [19], однак лише за пріоритетними напрямками: якщо відбувається переважаюче забруднення ґрунту – оцінюється ступінь стійкості окремих сільськогосподарських угідь в зоні впливу об'єкта до переходу РН в продук-

цію; якщо забруднюються тільки відкриті водні об'єкти і якоюсь мірою ґрунтові води, – дається оцінка стійкості окремих водозбірних басейнів; якщо є ризик забруднення ґрунтових та міжпластових вод експлуатаційних горизонтів, – оцінюється їх ступінь захищеності та вразливості [22-24].

Висновки: Усі тематичні види державного моніторингу (гідрологічний, гідрогеологічний, еколого-меліоративний, радіоекологічний, мінеральних ресурсів та ін.) повинні базуватись на єдиній ландшафтно-геохімічній основі. Основною територіальною одиницею комплексної оцінки, в т.ч. радіоекологічної, повинен виступати *водозбірний басейн*, в якому цикл міграції речовин замикається на єдиний водоприймач (дрену).

Визначено принципи радіаційного моніторингу, що проводиться на геохімічній основі в межах окремих водозборів та вперше запропоновано категоризацію радіаційних показників моніторингу: 1) прямі показники забруднення, що контролюються, – концентрації радіонуклідів у водах та суміжних об'єктах (точковий рівень); 2) оцінювані показники локального рівня, наприклад для водних систем: а) водне винесення РН за рік водотоком; б) модуль винесення РН; в) частка винесення РН від його запасів на водозборі; до другої групи віднесено також показники, що характеризують перехід радіонуклідів з одного компоненту або ланки в іншу (коефіцієнти розподілу та переходу); 3) оцінювані показники регіонального рівня: а) бар'єрна стійкість водозбору; б) інтенсивність самоочищення поверхневих та підземних вод; в) ступінь їх захищеності та вразливості; прогнозовані показники (локальний рівень): а) концентрації радіонуклідів у поверхневих водах річок; б) водне винесення радіонуклідів за рік водотоком; в) час самоочищення поверхневих та підземних вод. Розширений перелік з трьох груп показників дозволить виконувати більш складні завдання та отримувати вагоміші результати РМ, обґрунтовувати вибір майданчиків під будівництво радіаційно небезпечних об'єктів. На прикладі ЧЗВ нами виконано апробацію окремих методів та положень запропонованої методології РМ стосовно ^{90}Sr , що дозволило встановити час найбільш масового переходу його паливних нерозчинних форм у розчинні, визначити залежності винесення ^{90}Sr водотоками від сталих та динамічних показників середовища, знайти регресійні рівняння для прогнозування водного винесення, оцінити бар'єрну стійкість 11 виділених водозбірних басейнів [13] та багато іншого.

Література

1. Пристер Б.С. Проблемы безопасности атомной энергетики. Уроки Чернобыля / Б.С. Пристер, А.А. Ключников, В.Г. Барьяхтар, В.М. Шестопапов, В.П. Кухарь; под. ред. Б.С. Пристера; 2-е изд. доп. – Чернобыль, 2016. – 356 с.
2. 15 лет Чернобыльской катастрофы. Опыт преодоления. Национальный доклад Украины. / под. ред. В.В. Дурдинца, Ю.А. Иванова, А.Н. Архипова и др. К., 2001. – 148 с.
3. Двадцять років Чорнобильської катастрофи. Погляд у майбутнє. Національна доповідь України / під ред. В.І. Балогі, В.І. Холоші, О.М. Євдіна, Л.В. Перепелятнікової та ін. – К.: Атіка, 2006. – С. 22-23.
4. Пристер Б.С. Вертикальная и горизонтальная миграция радионуклидов в агроландшафтах зоны аварии на Чернобыльской АЭС / Б.С. Пристер, Л.В. Перепелятнікова, Н.П. Омеляненко // Докл. АН Украины, 1993. – №1. – С. 163–170.
5. Радиоекологический мониторинг водоемов 30-ти км зоны ЧАЭС / В.Г. Кленус [и др.] // Чернобыль-94: IV междунар. науч.-тех. конф., 6-9 дек. 1994 г., Зеленый Мыс: сб. докл. – Чернобыль: НПО Припять, 1996. – Т.1. – С. 165–179.
6. Бондаренко Г.Н. Кинетические константы трансформации форм ^{90}Sr и ^{137}Cs в дерново-подзолистых почвах Зоны отчуждения / Г.Н. Бондаренко, Л.В. Кононенко // Проблемы Чернобыльской зоны отчуждения, 1998. - Вып. 5. – С.18-24.
7. Кашпаров В.О. Формування і динаміка радіоактивного забруднення навколишнього середовища під час аварії на Чорнобильській АЕС та в післяаварійний період / В.О. Кашпаров // Чорнобиль. Зона відчуження [зб.наук.праць]. – К.: Наукова думка, 2001. – С. 11-46.
8. Іванов Ю.О. Динаміка перерозподілу радіонуклідів у ґрунтах і рослинності / Ю.О.Іванов // Чорнобиль. Зона відчуження [зб. наук. праць]. – К.: Наукова думка, 2001. – С.47–76.
9. Долін В.В. Самоочищення природного середовища після Чорнобильської катастрофи. / В.В. Долін, Г.М. Бондаренко, О.О. Орлов. – К.: Наукова думка, 2004. – 221 с.
10. Барбашев С.В. Радиационный мониторинг в Украине: состояние, проблемы и пути их решения / С.В. Барбашев, В.И. Витько, Г.Д. Коваленко; под. ред. С.В. Барбашева. Одеса: Астропринт, 2011. – 76 с.
11. Барбашев С.В. Автоматизированные системы контроля радиационной обстановки: принципы построения и методы реализации / С.В. Барбашев, Б.С. Пристер // Ядерна та радіаційна безпека, 2013. - №1 (57). – С.41-47.
12. Жукова О.М. Вторичные эффекты радиоактивного загрязнения водных объектов Беларуси / О.М. Жукова, И.И. Матвеевко, Э.Д. Шагалова и др. // Геологический вестник центральных районов России, 2001, – Вып.2(15). – С. 74-79.
13. Шевченко О.Л. Радіогідрогеологія осушуваних ландшафтів Українського Полісся (на прикладі Чорнобильської зони відчуження): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора геол. наук: спец. 04.00.06 «Гідрогеологія» / О.Л. Шевченко. – Київ, 2016. – 44 с.
14. Гидрологические изменения и их влияние на радиологические показатели в Чернобыльской зоне отчуждения / Шевченко А.Л. [и др.] // Водные ресурсы. – 2002. – Т. 29, № 4. – С. 489–504.
15. Закономірності міграції техногенних радіонуклідів на меліоративних системах Чорнобильської зони відчуження (за результатами досліджень 1986-2004 рр.) / [Шевченко О.Л. [та ін.]; гол. ред. В.А. Шашук. – Херсон: Олді-плюс, 2011. – 415 с.
16. Соботович Э.В. Оценка скорости самовосстановления радиационно загрязненных агроценозов в природно-техногенных условиях. / Э.В. Соботович, В.В. Долин // Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях: тезисы докл. междунар. конф. (г. Москва, 24-26 апреля 2000 г.) – Санкт-Петербург: Гидрометеозидат, 2000. – С. 409.
17. Шевченко О.Л. Метод інтегральної оцінки бар'єрної здатності водозборів / О.Л.Шевченко, С.І. Кірсєв // Екологія і ресурси. – 2005. – Вып. 11. – С. 77-86.
18. Алферов И.Н. Методы защиты геологической среды горнодобывающих районов на основе реализации экологической

емкости: автореф. дис. на стипен. уч. степени канд. техн. наук: спец. 25.00.36. «Геоэкология» / И.Н. Алферов. – Пермь, 2005. – 21 с.

19. Шевченко О.Л. Методика оцінки бар'єрної стійкості водозборів щодо забруднюючих речовин / О.Л. Шевченко // Доповіді національної академії наук України. 2016. – №4. – С.69-77.

20. Шевченко О.Л. Визначення бар'єрної стійкості водозбірних басейнів на основі статистичного аналізу ландшафтних чинників / О.Л. Шевченко // Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту, 2016. – Вип. 268. – С. 82-92.

21. Екогеологія України // відп. ред. В.М. Шестопалов. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. – С. 116-217.

22. Шестопалов В.М. Оценка защищенности и уязвимости подземных вод с учетом зон быстрой миграции / В.М. Шестопалов, А.С. Богуславский, В.М. Бублясь. – К.: НИЦ РПИ НАНУ, 2007. – 120 с.

23. Aller L. DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings / L. Aller, T. Bennet, J.H. Lehr, R.J. Petty and G. Hackett // US Environmental Protection Agency, Ada, EPA/600/2-87-036. 1987.

24. Vrba J. Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability / Vrba, J. Zaporozec, A. // International Contributions to Hydrogeology, 16. 1994.

References

1. Prister, B.S., Kliuchnykov, A.A., Baryakhtar, V.G., Shestopalov, V.M., Kuhar, V.P. (2016), *The safety problems of the nuclear power. The lessons of Chernobyl*, Chernobyl, 356 p. (Russ.)
2. *15 years of the Chernobyl disaster. Overcoming experience. National Report of Ukraine* (2001), Kyiv, 148 p.
3. *Twenty years of the Chernobyl disaster. Opinion at the future. National accessibility of Ukraine* (2006), Kyiv: Atika, pp. 22-23.
4. Prister, B.S., Perepelytnikova, L.V., Omelyanenko, N.P. (1993), *Reports of the Academy of Sciences of Ukraine*, 1, pp.163–170.
5. Klenus, V.G., et al. (1996), *Chernobyl-94*, (Zelenyi Mys, 1994), Chernobyl, 1, pp. 165–179. (Russ.)
6. Bondarenko, G.N., Klimenko, L.V. (1998), *Problemy Chornobyls'koyi zony vidchudgennya*, 5, pp.18-24.
7. Kashparov, V.O. (2001), *Chornobyl. Zona vidchudgennya*, K.: Naukova dumka, pp. 11-46. (Ukr.)
8. Ivanov, Yu.O. (2001), *Chornobyl. Zona vidchudgennya*, K.: Naukova dumka, pp. 47–76. (Ukr)

9. Dolin, V.V., Bondarenko, G.N., Orlov O.O. (2004), *Samoohychennyya pryrodnoho seredovyzcha pislya Chornobyls'koyi catastrofy*. K.: Naukova dumka, 221 p. (Ukr)

10. Barbashov, S.V., Vit'ko, V.I., Kovalenko, G.D. (2011), *Radiation monitoring in Ukraine: state, problems and solutions*, Odesa: Astroprint, 76 p.

11. Barbashov, S.V. Prister, B.S. (2013), *Nuclear and radiation safety*, 1, pp. 41-47.

12. Zhukova, O.M. (2001), *Geological Bulletin of the Central Regions of Russia*, 2(15), pp. 74-79. (Russ.)

13. Shevchenko, O.L. (2016), *Avtoreferat diss. Radiohydrogeology of the drained landscapes of the Ukrainian Polesie (on the example of the Chernobyl Exclusion Zone)*, Kyiv, 44 p.

14. Shevchenko, O.L., Dolin, V.V., Nasedkin, I.Yu., Kireev, S.I., Kozitskii, O.N. (2002), *Water Resources*. 29, 4. pp. 449-464.

15. Shevchenko, O.L. et. al., (2011), *Patterns of relationship of migration of mancaused radionuclides on the reclamation systems of the Chernobyl Exclusion Zone (according to the results of the research of 1986-2004)*, Kcherson, Oldi-plus, 415 p.

16. Sobotovich, E.V. Dolin, V.V. (2002), *Radioactivity in nuclear explosions and accidents: Abstracts dokl. int. conf. in Mosckow*, St.Peterburg, Ru, p.409.

17. Shevchenko, O.L. Kireev, S.I., (2005), *Ecology and resources*, 11, p.77-86.

1. Alferov, I.N. (2005), *Avtoreferat diss. Methods of protecting the geological environment of mining areas based on the implementation of environmental capacity*, Perm, Ru, 21 p.

2. Shevchenko, O.L. (2016), *Dopovidi of the Academy of Sciences of Ukraine*, 4, pp.69-77.

3. Shevchenko, O.L. (2016), *Scientific works of the Ukrainian Hydrometeorological Research Institute*, 268, pp. 82-92.

4. Shestopalov, V.M., Korzhnev, M.M., Vyzhva, S.A. et. al., (2011), *Ecogeology of Ukraine*, Kyiv: Kyivs'kyi universytet, pp. 116-217.

5. Shestopalov, V.M. (2007), *Assessment of protection and vulnerability of groundwater, taking into account zones of rapid migration*, Kyiv, 120 p. (Russ)

6. Aller, L., Bennet, T., Lehr, J.H., Petty, R.J. and Hackett, G. (1987), *DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings*. US Environmental Protection Agency, Ada, EPA/600/2-87-036.

Vrba, J. Zaporozec, A. (1994), *Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability. International Contributions to Hydrogeology*, 16.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ И ГЛАВНЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Шевченко А.Л., Д. д.г.н., ст.н.с., УНИ «Институт геологии» Киевского национального университета им. Тараса Шевченко, shevch62@gmail.com

Долин В.В. д.г.н., проф., ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», vdolin@ukr.net”

Степень миграционной активности в окружающей среде техногенных радиоактивных веществ определяется биогеохимическими особенностями ландшафта. На основании этого утверждения представлено геохимическую концепцию мониторинга окружающей среды, в частности, его составной части - радиационного мониторинга. Поскольку основным путем вторичной миграции за пределы загрязненных территорий, в частности, Чернобыльской зоны отчуждения является водный путь, главным объектом итоговой радиозекологической оценки этой территории должен выступать водосборный бассейн с его индивидуальным набором ландшафтных признаков, которые собственно и определяют различия в водном выносе радионуклидов в пределах одной климатической зоны. Водосборный бассейн является идеальным объектом, позволяющим отойти от проблем дискретных оценок, связанных с неравномерностью загрязнения. Сформулированы двенадцать принципов радиационного мониторинга, включающие обоснования перечня контролируемых, оцениваемых и прогнозных показателей II-III уровня, конечной целью использования которых является определение барьерной устойчивости водосборов в пределах влияния радиационно опасных объектов. Барьерная устойчивость интегрально объединяет и отражает результат действия всех конкурирующих процессов (аккумуляции, сорбции, десорбции, растворения, конвективного переноса и т.д.), которые происходят в цепях: почва - почвообразующие породы - подземные воды; почва - водосодержащие породы - грунтовые воды – поверхностные воды; почва - поверхностные воды; воздух - почва - растения и т.п. Предложено считать, что цепочки с одним основным донором и одним акцептором являют-

ся простыми, а системы, в которых оценивается комплексная барьерная устойчивость по суммарной барьерной функции нескольких составляющих (некоторые из них могут быть донорами и акцепторами одновременно) - сложными. Поскольку интегральным показателем степени загрязнения бассейна и его барьерных способностей является величина выноса радионуклида (Бк /год) в устье основного водотока, в качестве главных мониторинговых показателей барьерной устойчивости водосбора и защищенности его водной системы предлагается принять долю и модуль водного выноса радионуклида, а также характер их изменений во времени.

Ключевые слова: радиационный мониторинг, факторы, геохимический фон, водный вынос радионуклидов, ландшафт, радиологические показатели, водосборный бассейн, барьерная устойчивость

METHODOLOGICAL PRINCIPLES AND MAIN INDICATORS OF RADIATION MONITORING OF THE ENVIRONMENT.

Shevchenko O., D. Sc. (Geol.), Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv

Dolin V. V. D. Sc. (Geol.), SI "Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine"

The degree of migration activity of artificial radioactive substances in the environment is determined by the biogeochemical features of the landscape. The geochemical concept of monitoring of the environment, in particular, its component part - radiation monitoring is presented. The main object of the final radioecological assessment of the territory should be the catchment basin with its individual set of landscape features, which determine the differences in the aqueous removal of radionuclides from different basins in the same climate zone. In this case, the catchment area is the ideal object to overcome the problems of discrete estimates related to the uneven pollution. Twelve principles of radiation monitoring have been formulated, including the justification of the list of controlled (level I) and forecast indicators of II-III levels, the ultimate goal of which is to determine the barrier stability of the territories adjacent to radiation hazardous objects. Barrier resistance is the indicator that combines individual elements of the environment or landscape in the chains: soil – soil-forming rocks-underground waters; soil – water-bearing rocks – groundwater – surface waters; soil – surface water; air – soil – plants, etc. Chains with one major donor and one acceptor are simple, and systems that evaluate the complex barrier stability by the total barrier function of several components are complex. The main integrated indicators of the barrier resistance of the catchment and the protection of its water system must be the share and module of removal of the radionuclides from the catchment area and the nature of their changes in time.

Keywords: radiation monitoring, factors, geochemical background, radionuclides water drainage, landscape, radiological indices, catchment basin, barrier resistance.