

ОСОБЛИВОСТІ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННЯ РАДІОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Дунаєвська О.Ф., Зимарова А.А., Іщук О.В., Сокульський І.М., Піциль А.О.

Поліський національний університет

бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир

oksana_fd@ukr.net, nastya.zymaroeva@gmail.com, ischuk_o@ukr.net,

sokulskiy_1979@ukr.net, pistil.uk@gmail.com

Забезпечення екологічної безпеки як складової державної безпеки є необхідною умовою сталого розвитку країни. В сучасних умовах воєнного стану, загрозах застосування, випробування ядерної зброї, виникненні аварійних ситуацій на атомних електростанціях, радіохімічних підприємствах зростає роль радіоекологічного моніторингу складових довкілля.

Висвітлено питання важливості історичного підходу у подоланні екологічних проблем сучасності. Наголошено на важливості використання досвіду та накопиченої інформації з подолання наслідків аварій на атомних електростанціях Чорнобиль та Фукусіма. Зазначено, що міграція і накопичення радіонуклідів в складових довкілля має певні закономірності.

Для забезпечення екологічної безпеки потрібно враховувати особливості нагромадження та утворення доступних форм радіонуклідів, зокрема ^{137}Cs . Варто звернути увагу на бар'єрний край болота, де накопичується радіонуклід ^{137}Cs . Доведено, що покрив моху відіграє роль міцного кордону боліт Українського Полісся від проникнення радіонукліду ^{137}Cs до навколишніх ґрунтів. Дослідження демонструють, що в лісових біоценозах питома активність за радіонуклідом ^{137}Cs була різною. У деревних ярусах найбільша питома активність за ^{137}Cs виявлена у однорічних пагонах і внутрішній корі; серед інших ярусів – у ярусі макроміцетів, лишайниковому та у моховому ярусі. При цьому ґрунт утримує близько 87% радіонукліду ^{137}Cs . При здійсненні лісорозведення на радіаційно забруднених територіях потрібно враховувати питому не лише питому активність ґрунту, а й та вид, фізіологічні особливості рослин. За показниками питомої активності продуктів харчування (гриби, лісові ягоди, м'ясо диких звірів, молоко) навіть у 2020 році деякі проби не відповідають вимогам ДР-2006 і при споживанні вносять додаткове дозове навантаження на організм людини.

Нагромаджений матеріал та наукові дослідження дозволяють розробити програму радіаційного моніторингу, враховуючи особливості розподілу, нагромадження радіонуклідів в екосистемах. Підкреслено, що використання автоматизованих систем радіоекологічного моніторингу дозволить розв'язувати екологічну проблему в конкретній життєвій ситуації, швидко реагувати та прогнозувати стан довкілля. *Ключові слова:* радіоекологічний моніторинг, екологічна безпека, довкілля, сталий розвиток, радіонукліди, радіоактивне забруднення.

Features and results of radioecological monitoring to ensure environmental safety in modern conditions. Dunaievskia O., Zymaroeva A., Ischuk O., Sokulskiy I., Pitsil A.

Ensuring environmental safety as a component of state security is a fundamental condition for the country's sustainable development. In the current conditions of martial law, under the threat of emergencies at nuclear power plants and radiochemical enterprises the role of radioecological monitoring of environmental components is growing.

The article highlights the importance of the historical approach in overcoming environmental problems of our time. The importance of using experience and accumulated information on overcoming the consequences of the accidents at the and Fukushima nuclear power plants. It is noted that migration and accumulation of radionuclides in environmental components has certain characteristics.

To ensure environmental safety, it is necessary to take into account the following features accumulation and formation of available forms of radionuclides, in particular ^{137}Cs .

Attention should be paid to the barrier edge of the swamp, where the radionuclide ^{137}Cs accumulates. It has been proven that the moss cover plays the role of a strong border of swamps Ukrainian Polissia from the penetration of ^{137}Cs radionuclide into the surrounding soils. Studies show that in forest biocenoses, the relative activity of ^{137}Cs radionuclide was different in forest biocenoses. The highest specific activity for ^{137}Cs was in the tree layers. The specific activity for ^{137}Cs was detected in annual shoots and inner bark; among other layers – in the macromycetes layer, in lichens and in the moss layer. At the same time, the soil retains about 87% of the ^{137}Cs radionuclide. For forestry in radiation-contaminated areas, it is necessary to take into account not only the specific activity of the soil, but also the species and physiological characteristics of plants. The specific activity of foodstuffs (mushrooms, forest berries, meat of wild animals, milk) even in 2020, some samples do not meet the requirements of the State Standard 2006 and, when consumed, introduce an additional dose load on the human body.

The accumulated material and scientific research allow us to develop a radiation monitoring programme, taking into account the specifics of distribution, accumulation of radionuclides in ecosystems. It is emphasised that the use of automated radioecological monitoring systems will allow solving environmental problems in a certain everyday life situation, to respond quickly and predict the state of the environment. *Key words:* radioecological monitoring, environmental safety, environment, sustainable development, radionuclides, radioactive contamination.

Постановка проблеми. Стратегічними завданнями екологічної політики України у галузі радіаційної безпеки є зменшення надходження радіоактивних речовин з зон відчуження і безумовного відселення до прилеглої території. Відповідно до стратегічного плану, уже в 2030 році Україна запровадила систему ефективного екологічного управління [1]. На жаль, війна суттєво впливає на довкілля [2]. Навіть в таких умовах важливим є екосистемний підхід для розвитку соціально-економічного блоку нашої країни. Одним з механізмів для вдалої реалізації екологічної політики є комплексний моніторинг довкілля [1]. Важливою складовою державної системи моніторингу довкілля є радіоекологічний моніторинг. А радіаційна безпека є невід'ємною складовою екологічної безпеки країни.

Актуальність дослідження. Актуальність проблеми особливостей проведення радіаційного моніторингу та забезпечення достовірності отриманої інформації зумовлена радіаційними аваріями, військовими діями на об'єктах атомних електростанцій, можливим використанням ядерної зброї. Результати радіаційного моніторингу надаються міжнародній системі радіаційного моніторингу МАГАТЕ, Європейській платформі обміну радіологічними даними EURDEP [3]. Радіаційна безпека повинна забезпечуватися при використанні іонізуючих випромінювань у медицині, сільському господарстві тощо, неможливості використання джерел іонізуючого випромінювання екстремістськими і терористичними організаціями [4, 5].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями забезпечується виконанням розділу теми науково-дослідної роботи «Моніторингові дослідження біосфери Українського Полісся», затвердженої у Міністерстві освіти і науки України (державний реєстраційний номер 0124U000645).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Радіаційний моніторинг набув неабиякої актуальності після аварії на ЧАЕС та є необхідним з 2022 року після російської агресії, яка створює серйозні радіаційні загрози. Ядерний тероризм стимулює багатовекторне розв'язання задач та управління радіаційними, екологічними ризиками [6]. На жаль, Договір про заборону Ядерної зброї (2017 рік) ратифікували всього 70 країн, серед них відсутні ядерні країни.

Великий та неocenний внесок у вивченні наслідків та створення шляхів їх подолання зробили вітчизняні науковці: Прістер Б.С., Гродзинський Д.М., Гудков І.М., Краснов В.П., Орлов О.О., Ландін В.П., Кутлахмедов Ю.О. Для світової спільноти був важливим досвід подолання наслідків як Чорнобильської катастрофи, так ядерної аварії на АЕС Фукусіма [7]. Нагромаджена велика кількість наукових досліджень, систематизація яких дозволяє підвищувати кваліфікацію працівників, що задіяні у роботі з джерелами іонізуючого випромінювання.

Сьогодні в Україні таке підвищення у сфері фізичної ядерної безпеки на державному та міжнародному рівнях проводиться у Навчальному центрі з фізичного захисту, обліку та контролю ядерного матеріалу ім. Дж. Кузмича ІЯД НАН України. Докладніша інформація про такий центр висвітлена у праці Драпея С. [8].

Радіаційне забруднення довкілля стало глобальною соціально-екологічною проблемою нашого століття. Це пояснюється такими чинниками: медичне використання іонізуючого випромінювання подвоюється щороку; невпинно збільшується застосування в сільському, різних галузях народного господарства; зростання площ з технологічно підсиленним природним радіаційним фоном, в тому числі у галузі вугільно-видобувної промисловості; випробування ядерної зброї та радіоактивні опади, що виникають в місцях модельованого вибуху; підприємства з ядерно-паливною технологією (АЕС), особливо, відходи різного агрегатного стану, які виділяються у результаті їх функціонування; радіоактивні відходи [9].

Важливе вивчення питомої радіоактивності будівельних матеріалів, особливо, призначених для житлового будівництва, адже перебування в приміщенні може призводити до збільшення дози внутрішнього і зовнішнього опромінення. Актуальною задачею проти радіаційного захисту залишається створення матеріалів з підвищеними радіаційно стійкими властивостями, одним з варіантів вирішення є додавання до бетону нових компонентів (баритової руди, оксиду свинцю, сірки модифікованої) [10].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Радіаційний моніторинг як складова державної системи моніторингу довкілля забезпечує не лише збір, аналіз інформації, а й розробку науково-обґрунтованих рекомендацій з покращення стану довкілля та забезпечення екологічної безпеки, особливо, в умовах воєнного стану. Тому необхідні сучасні підходи з врахуванням можливостей фахівців для проведення таких досліджень та їх удосконалення.

Новизна. У роботі представлено аналіз нормативно-правових та наукових джерел з питань радіаційного моніторингу та узагальнено досвід його проведення в сучасних умовах воєнного стану для забезпечення екологічної безпеки та реалізації концепції сталого екологічного розвитку для зменшення або уникнення негативного впливу на довкілля.

Методологічне або загальнонаукове значення. Україна, як і значна частина міжнародної спільноти, працює над реалізацією стратегії сталого розвитку, що спрямована на пріоритети сьогодення та майбутнього – системне розв'язання глобальних проблем: екологічних, соціальних, політичних та економічних. Концепція сталого розвитку України, що перебуває у воєнному стані, не реалізована; існує

потреба в розробці, впровадженні сучасних методів отримання інформації з залученням роботизованої техніки, консолідації суспільства задля запобігання розповсюдження екологічної катастрофи.

Викладення основного матеріалу. Наслідком аварії на Чорнобильській АЕС стало забруднення значної території України. Для зменшення впливу радіоактивного опромінення на людину та екосистеми було проведено зонування території країни з певними обмеженнями у використанні [11]. Таке визначення категорій зон радіоактивно забруднених територій стало можливим завдяки проведенню радіоекологічного моніторингу та щорічній дозиметричній паспортизації населених пунктів.

Радіоекологічний моніторинг проводиться, в першу чергу, у зонах гарантованого добровільного відселення і посиленого радіоекологічного контролю для зниження дозового радіоактивного опромінення та ризику захворюваності. Радіоекологічний моніторинг повинен враховувати міграцію радіоактивних елементів. А для таких досліджень важливо визначити ландшафтно-геохімічні особливості території. Чим довший термін дослідження, тим точніший прогноз розподілу та динаміки накопичення радіонуклідів можливо надати. Вивчення міграції радіонукліда ^{137}Cs дозволило встановити, що протягом перших п'яти років від моменту надходження у довкілля, динаміка перерозподілу є малопомітною. Десятиріччя потому демонструють добру динаміку зі змінами радіаційних параметрів ландшафту, щільності забруднення, наявності різних фізико-хімічних формул. Вже встановлено, що схил накопичує у 1,8 разів даного радіонукліду, ніж верхівка. Балансовий підхід дозволив поділити ландшафти на балансонейтральні, з від'ємним балансом (добре виражена властивість до самоочищення) та позитивним – акумулятивні процеси добре прослідковуються. Мохоподібні та й інша біота, певні ґрунти приймають участь у встановленні геохімічних бар'єрів. Саме на краю болота значно концентрується ^{137}Cs та має майже вдвічі більшу швидкість вертикальної міграції. У деревних ярусах найбільша питома активність за радіонуклідом ^{137}Cs виявлена у однорічних пагонах (майже 1500 Бк/кг), внутрішній корі (близько 1300 Бк/кг), хвої (1100 Бк/кг). Серед інших ярусів питома активність за радіонуклідом ^{137}Cs найвища була у ярусі макроміцетів (майже 18200 Бк/кг), лишайниковому ярусі (майже 4100 Бк/кг), у моховому – близько 2200 Бк/кг, при цьому питома активність ґрунту не перевищувала 100 Бк/кг. Тут слід відмітити, що саме ґрунт утримував майже 87% радіонукліду ^{137}Cs і майже 9% деревостан та 3,5% мохи [12].

Під час воєнного стану в Україні частина території була замінована, частина окупована, лісове господарство зазнало втрат внаслідок пожеж. Тому перед науковцями стоїть важливе завдання з вивчення лісорозведення на радіаційно забрудненій місцевості. Зменшення вмісту радіонуклідів в лісових еко-

системах можливо за врахування властивостей їх утримування, внесення певних добрив, переведення у необмінні форми. Слід враховувати, що чагарники, трав'яні рослини, гриби нагромаджують майже 90% радіонуклідів. Деревні рослини по-різному накопичують радіонукліди, наприклад, хвойні більше, ніж листяні. Серед фізіологічних властивостей рослин, які потрібно враховувати щорічний приріст деревини. Так, у дуба і граба ці показники невеликі, тому і накопичення радіонуклідів несуттєве (до 60 Бк/кг), одночасно сосна в цих же умовах матиме питому активність 70–500 Бк/кг [13].

Радіаційна безпека продуктів харчування є складовою продовольчої безпеки. Науковці Котелевич В.А. та Пінський О.В. провели аналіз питомої активності продуктів харчування за останні 10 років. Перевищення вмісту радіонукліду ^{137}Cs відповідно до вимог ДР-2006 [14] виявили у м'ясі диких тварин у Овруцькому, Малинському і Коростенському районах та молоці з Народицького, Олевського, Коростенського, Лугинського, Ємільчинського районів. Найбільшу питому активність мали гриби, особливо, білі. Зразки лісових ягід майже у 14% проб не відповідали вимогам ДР-2006, особливо, з Народицького, Овруцького районів. У 2017 році аналіз проб харчових продуктів зареєстрував найбільшу частку перевищень допустимих рівнів радіонуклідів з Народицького та Овруцького районів, істотну частку склали гриби, м'ясо диких тварин, лісові ягоди. У 2019 році невідповідність відібраних проб за питомою радіоактивністю спостерігали приблизно у 0,1%, серед них, традиційно, гриби, молоко, м'ясо диких тварин та м'ясо великої рогатої худоби, лікарські рослини. У 2020 році серед проб продукції ненормативний показник питомої активності був у молоці, м'ясі диких тварин з Народицького району, продукції бджільництва з Народицького та Овруцького районів, лісових ягід, грибів з п'яти районів [15].

В умовах повномасштабного вторгнення рф зростають загрози аварій на ядерних об'єктах та застосування ядерної зброї, відповідно, підвищується значимість радіаційного моніторингу. На превеликий жаль, в Україні відсутні інтегрована система моніторингу і єдина система підготовки прийняття рішень. До кінця 2024 року має бути створена така автоматизована система, яка буде забезпечувати автоматизовану взаємодію із аналогічною системою ЄС [3]. Для функціонування такої системи існують напрацювання. Зокрема, з використання методу інтерполяції [16] та аналізу потокових даних [17].

Головні висновки. Нагромаджений матеріал та наукові дослідження дозволяють розробити програму радіаційного моніторингу, враховуючи особливості розподілу, нагромадження радіонуклідів в екосистемах. Для забезпечення екологічної безпеки потрібно звернути увагу на бар'єрний край болота, де накопичується радіонуклід ^{137}Cs . Покрив моху варто розгля-

дати як міцний кордон боліт Українського Полісся від проникнення радіонуклідів ^{137}Cs до навколишніх ґрунтів. У лісових біоценозах питома активність за радіонуклідом ^{137}Cs була різною. Лісорозведення на радіаційно забруднених територіях повинні враховувати питому активність ґрунту та вид, фізіологічні особливості рослини. Питома активність певних продуктів харчування (гриби, лісові ягоди, м'ясо диких звірів, молоко) навіть у 2020 році не відповідає вимогам ДР-2006 та є небезпечно для споживання, оскільки вносить додаткове дозове наванта-

ження на організм людини. Важливим є створення дієвої системи радіаційного моніторингу для забезпечення екологічної безпеки.

Перспективи використання результатів дослідження. Враховуючи важливість та необхідність здійснення радіоекологічного моніторингу та наявну в Поліському національному університеті вимірювальну лабораторію, плануємо його проведення в автоматизованому режимі з відбором зразків та їх подальший аналіз для навчальних та наукових цілей.

Література

1. Основні засади (стратегія) державної екологічної політики України на період до 2030 року : Закон України від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII. *Відомості Верховної Ради України*. 2019. № 16. С. 8. Ст. 70.
2. Дунаєвська О.Ф., Сокульський І.М., Мельник Н.В., Піциль А.О. Екологічні проблеми сільського господарства в умовах воєнного стану. *Екологічні науки*. 2024. № 1 (52). С. 22-27. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.3>
3. Стратегія інтегрованої автоматизованої системи радіаційного моніторингу на період до 2024 року : розпорядженням Кабінету Міністрів України від 29 квітня 2022 р. № 323-р. *Урядовий кур'єр*. 2022. № 107.
4. Трегубов Д. Г., Слепужніков Є. Д. Радіаційна безпека обробки сільськогосподарської продукції іонізуючим випромінюванням. *Об'єднання теорії та практики – запорука підвищення готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням*: матеріали круглого столу (Харків, 27 жовтня 2023 р.). Харків: НУЦЗ України, 2023. С. 46-47. URL: <http://repositc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/18481> (дата звернення 24.11.2024).
5. Sitnikova O., Melnyk A. Розробка алгоритму оцінки вразливості джерел іонізуючого випромінювання. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2022 № 1 (93). С. 71-76. [https://doi.org/10.32918/nrs.2021.1\(93\).08](https://doi.org/10.32918/nrs.2021.1(93).08).
6. Чоботко Г.М., Райчук Л.А., Швиденко І.К., Уманський М.С. Від кризи до відновлення: наукові здобутки інституту агроєкології і природокористування наан у мінімізації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС. *Агроєкологічний журнал*. 2024. № 2. С. 6-16. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2024.305647>
7. Дребот О.І., Замула Х.П. Організаційні аспекти ведення лісового господарства в умовах радіоактивного забруднення: досвід Фукусіми. *Збалансоване природокористування*. 2020. № 2. С. 42-50. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2020.212600>
8. Драпей С. Підвищення кваліфікації в сфері фізичного захисту, як елемент національної безпеки в боротьбі з радіаційними загрозами. *СБУ в умовах війни в Україні: сучасні реалії та інноваційні стратегії забезпечення національної безпеки*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 4-5 липня 2024 р.). Київ : Алерта, 2024. С. 168-171.
9. Козубенко Ю. Радіаційне забруднення навколишнього середовища в контексті глобальних соціально-екологічних проблем XXI століття. *Scientia et Societas*. 2022. № 2. С. 118-125. DOI: 10.31470/2786-6327/2022/2/118-125
10. Ковальський В.П., Друкований М. Ф., Олійник Ю. Г. Аналіз способів підвищення радіаційнозахисних властивостей будівельних матеріалів. *Науково-технічний журнал "Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві"*. 2021. С. 33-41. DOI 10.31649/2311-1429-2021-1-34-41.
11. Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи : Закон України від 27.02.1991 № 791а-ХІІ. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/791%D0%B0-12> (дата звернення 24.11.2024).
12. Орлов О.О. Закономірності міграції ^{137}Cs на геохімічних бар'єрах крайової зони мезотрофного болота в Українському Поліссі. *Геохімія техногенезу*. 2021. № 6. С. 58-60. DOI: <https://doi.org/10.15407/10.15407/geotech2021.34.058>
13. Трохимчук І. М. Лісові екосистеми та їх радіаційне забруднення. *Природнична освіта та наука*. 2024. № 4. С. 108-111. DOI: <https://doi.org/10.32782/NSER/2024-4.17>
14. Державні гігієнічні нормативи «Допустимі рівні вмісту радіонуклідів Cs 137 та Sr 90 у продуктах харчування та питній воді» : Наказ МОЗ України 03.05.2006 № 256. *Офіційний вісник України*. 2006. № 29. С. 142, Ст. 2114.
15. Котелевич В. А., Пінський, О. В. Сучасний стан безпечності харчових продуктів щодо вмісту ^{137}Cs порівняно з 2010 роком у контексті продовольчої безпеки. *Scientific Progress & Innovations. Вісник ПДАА*. 2022. № 4. С. 246-258. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2022.04.29>
16. Нагорний Є. Інформаційні технології при побудові поля радіаційного забруднення місцевості і прогнозуванні. *Екологічна безпека та природокористування*. 2024. № 49 (1). С. 155-160. DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.1.155-160>
17. Олещенко Л. М., Ільїн М. О. Програмний аналіз потокових даних радіаційного забруднення повітря. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2023. № 2 (85). С. 187-195. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.26>