



УДК 502.51-049.5
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.12.2025.34>

РАДІОАКТИВНІ ОПАДИ В АТМОСФЕРІ ТА ЇХ РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ У КОНТЕКСТІ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ

К. В. Григор'єв¹, А. І. Григор'єва²

Актуальність представлених досліджень пов'язана з підвищеною увагою до організації радіаційного та радіоекологічного моніторингу на території України під час військових дій. Це пов'язано з підвищенням ризиків радіоекологічних аварій, загрози зміни радіаційної ситуації, потрапляння радіонуклідів в атмосферне повітря внаслідок постійних обстрілів з боку РФ ракетами та безпілотниками територій поблизу АЕС.

Метою є проведення радіоекологічних досліджень з оцінювання радіонуклідного складу опадів з атмосфери в м. Миколаєві та Миколаївській області, потужності ефективної дози атмосферного повітря та розроблення пропозицій для оптимізації радіоекологічного моніторингу атмосферного повітря під час військових дій. Методами дослідження виступали аналіз сучасної системи радіаційного моніторингу атмосферного повітря в Україні, аналіз випадків фіксації зміни радіонуклідного складу атмосферного повітря через пересування радіоактивної хмари, результати власних спостережень за рівнем потужності ефективної дози її радіометрії проб опадів з атмосфери.

У статті представлено матеріали досліджень за потужністю ефективної дози, рівнем загальної бета-активності опадів з атмосфери, вмістом ¹³⁷Cs в опадах з атмосфери в місті Миколаєві у 2023–2024 рр., порівняльного аналізу з показниками в минулі роки та в населених пунктах Миколаївщини. Для повноти оцінювання ефективності й оперативності наявної системи радіоекологічного моніторингу атмосферного повітря представлено аналіз результатів радіометрії проб атмосферного повітря на Миколаївщині під час пересування радіоактивної хмари з ¹⁰⁶Ru восени 2017 р. Наукова новизна полягає у розширенні уявлення про формування радіоекологічної ситуації під час військових дій, яка може визначатися розповсюдженням у просторі чистих бета-випромінюючих радіонуклідів і потребуватиме додаткового її обстеження. Практична значущість представлених результатів полягає в отриманні даних польових досліджень для дозиметрії населення м. Миколаєва та Миколаївщини під час військових дій РФ, для картографічного моделювання поточного формування індивідуальної та колективної дози зовнішнього опромінення населення на визначених територіях.

Ключові слова: опади з атмосфери, радіонукліди, потужність ефективної дози, радіоактивна хмара, радіоекологічний моніторинг.

¹ аспірант кафедри екології
(Чорноморський національний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв)
ORCID: 0000-0003-2804-2758

² доктор біологічних наук, професор, завідувачка кафедри екології
(Чорноморський національний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв)
ORCID: 0000-0003-2804-2758

RADIOACTIVE FALLOUT IN THE ATMOSPHERE AND ITS RADIOECOLOGICAL MONITORING IN THE CONTEXT OF MILITARY OPERATIONS

K. V. Grygoriev, L. I. Grygorieva

The relevance of the presented research is related to the increased attention to the organisation of radiation and radioecological monitoring on the territory of Ukraine during military operations. This is due to increased risks of radioecological accidents, threats of changes in the radiation situation, and release of radionuclides into the atmosphere as a result of constant shelling of the territories near NPPs by Russian missiles and drones.

The objective is to conduct radioecological studies to assess the radionuclide composition of precipitation from the atmosphere in Mykolaiv and Mykolaiv region, the effective dose rate of atmospheric air and to develop proposals for optimising radioecological monitoring of atmospheric air during military operations.

The research methods were an analysis of the current system of radiation monitoring of atmospheric air in Ukraine, analysis of cases of recording changes in the radionuclide composition of atmospheric air due to the movement of a radioactive cloud, results of own observations of the level of effective dose rate and radiometry of atmospheric precipitation. The article presents the results of studies on effective dose rate, level of total beta activity of atmospheric precipitation, content of ^{137}Cs in atmospheric precipitation in Mykolaiv in 2023-2024, comparative analysis with the indicators of previous years and in the settlements of Mykolaiv region. To fully assess the effectiveness and efficiency of the current system of radioecological monitoring of atmospheric air, the results of radiometry of atmospheric air samples in the Mykolaiv region during the movement of the radioactive cloud with ruthenium-106 in autumn 2017 are presented. The scientific novelty lies in expanding the understanding of the radioecological situation during military operations, which may be determined by an additional load due to the spread of pure beta-emitting radionuclides in space and will require additional survey. The practical significance of the presented results lies in obtaining field research data for dosimetry of the population of Mykolaiv and Mykolaiv region during military actions of the Russian Federation, for cartographic modelling of the current formation of individual and collective external dose to the population in certain areas.

Key words: atmospheric precipitation, radionuclides, effective dose rate, radioactive cloud, radioecological monitoring.

Вступ

Радіаційно-екологічний моніторинг атмосферного повітря є одним з інструментів вчасного інформування й убезпечення людей та біоти від опромінення. Радіоактивний пил, що міститься в повітрі, надзвичайно небезпечний для людини (Барбашев і Скалозубов, 2012; Shogo et al., 2025). Навіть за середнього рівня його загальної радіоактивності мікроскопічні пилові частинки можуть мати високий рівень радіоактивності. Потрапляючи з течією крові до внутрішніх органів та осідаючи там, вони піддають локальному опроміненню навколишні тканини. Це, зі свого боку, з високою імовірністю призводить до розвитку ракових клітин (Фаррахов, 2022). Особливу небезпеку становлять об'єкти атомно-енергетичного комплексу, оскільки надзвичайні ситуації на них супроводжуються значними зонами ураження як за площею, так і за висотою в атмосфері, а також значними медичними наслідками (Кустов та ін., 2019; Fujibuchi et al., 2024). За час агресії РФ проти України через постійні обстріли територій ракетами та безпілотними апаратами підвищилася увага до радіаційної безпеки

на території України (Вітько, 2022; Вітько, 2023), особливо поблизу АЕС. Як відомо, у перший день вторгнення РФ у 2022 р. Чорнобильська АЕС та Зона відчуження були захоплені російським агресором; ворог окупував Запорізьку АЕС, яка зазнала обстрілів танковими снарядами, піддав обстрілам ядерну установку в Харківському фізико-технічному інституті, а над АЕС України неодноразово зафіксовано прольоти крилатих ракет (Литвиненко, 2023). У 2022 році неодноразово відбувалися переривання підключення українських АЕС до енергомережі, зокрема, в листопаді через російські ракетні удари відбулося автоматичне відключення від електромережі Рівненської, Південноукраїнської та Хмельницької АЕС (Бібік та ін., 2025). Науковці актуалізують питання радіаційного впливу під час військових дій (Вітько, 2023). Зокрема, на останнє було вказано у вступному слові генерального директора МАГАТЕ Рафаеля Маріано Гроссі у березні 2022 року під час проголошення обговорення наслідків конфлікту в Україні, спричиненого вторгненням РФ. Актуальними залишаються питання моніторингу за радіаційним забрудненням

у випадку аварії на АЕС та її транскордонного характеру (Новосолов і Масько, 2019; Вітько та ін., 2020б; Калда та ін., 2022), питання своєчасного реагування на радіонуклідне забруднення довкілля під час ядерних аварій (Iatsyshyn, 2023).

За визначенням науковців у сфері радіаційної безпеки, радіаційно-екологічний (радіаційний) моніторинг довкілля – це комплексна інформаційно-технічна система регулярних спостережень за радіаційним станом навколишнього середовища, процесами міграції та накопичення радіонуклідів, потенційно небезпечними явищами тощо, яка реалізується за допомогою спеціального обладнання (систем, комплексів чи окремих приладів) для оцінювання та прогнозування радіаційного стану довкілля. Практикуються радіоекологічні спостереження за окремими підприємствами, особливо підприємствами ядерного паливного циклу й іншими, які є джерелами викидів радіоактивних речовин у навколишнє середовище (Вітько та ін., 2020а, Вітько та ін. 2020б). Ефективне функціонування мереж радіаційного моніторингу є важливим завданням для кожної країни (Iatsyshyn et al., 2023). Сьогодні відомі ряд висновків щодо вдосконалення системи моніторингу атмосферного розсіювання радіоактивних матеріалів через переосмислення наслідків для довкілля, пов'язаних з аварією на АЕС Фукусіма-1 (Povines et al., 2021; Shogo Takahara, 2025). Дослідниками пропонується стратегія оптимізації мереж радіаційного моніторингу атмосферного повітря для ефективного прогнозування забруднених територій та рівнів радіації під час аварій на АЕС (Gellenoncourt et al., 2025), зміни системи реагування на надзвичайні ситуації (Chen et al., 2022). Є пропозиції щодо збільшення кількості мобільних постів спостереження; підвищення інформативності електронних карт, можливості самостійного аналізу картографічних даних (Iatsyshyn et al., 2023).

Метою є проведення радіоекологічних досліджень радіоактивності опадів з атмосфери на території м. Миколаєва та Миколаївської області під час військових дій, визначення можливих неврахованих факторів, що впливають на радіаційний стан повітряного середовища, а також розроблення пропозицій для оптимізації радіоекологічного моніторингу атмосферного повітря в цей період.

Матеріал і методи

Вимірювання потужності дози гамма-випромінювання виконувалися за допомогою станцій індикативних вимірювань SaveDnipro та дозиметра МКС-05 ТЕРРА на рівні не нижче ніж 1 м від поверхні землі. Вимірювання дозиметром МКС-05 ТЕРРА здійснювалися два-три рази на тиждень. Спостереження за потужністю ефективної дози на території м. Миколаєва відбувалися за двома пунктами спостережень: пункт 1 – вул. Лазурна, 5; пункт 2 – вул. 68 Десантників, 10.

У дослідженні використано матеріали спостережень лабораторії зовнішньої дозиметрії ВП «Південноукраїнська АЕС» (ПАЕС) щодо потужності ефективної дози, отримані на контрольних постах у 30-кілометровій зоні ПАЕС на території Миколаївської області; дані, зібрані під час виконання робіт із моніторингу нульового фону навколо ПАЕС (Томілін, 1980); а також матеріали спостережень за потужністю експозиційної дози на території Миколаївщини.

Здійснено збір опадів з атмосфери седиментаційним методом із подальшим спалюванням проби та радіометрією проб золи на радіометричній установці та на гамма-спектрометричній установці SBS-50М з напівпровідниковим детектором ДГДК-125. Збір опадів з атмосфери в місті здійснено на відкритій території. Планшет для збору опадів мав розміри 1 x 1 м². Експозиція збору опадів становила 1–3 місяці. Розрахунок активності опадів з атмосфери здійснено в одиницях Бк/(місяць*м²).

Для аналізу використано дані щомісячних вимірювань радіонуклідного складу опадів з атмосфери в пунктах спостереження навколо ПАЕС у передпусковий період та у 2017 р. (під час радіоактивної хмари з рутенієм-106).

Результати та їх обговорення

Результати спостережень за потужністю ефективної дози в м. Миколаєві за двома пунктами спостережень наведено в таблиці 1.

З результатів вимірювання маємо, що середнє значення потужності ефективної дози в м. Миколаєві у 2023–2024 рр. становило $0,12 \pm 0,01$ мкЗв/год.

Результати обчислення використано для створення карти EDRA_Myko (Effective dose rate of atmospheric air, Mykolaiv) на базі географічної інформаційної системи QGIS (рис. 1).

Таблиця 1
Середньомісячні значення потужності ефективної дози в м. Миколаєві у 2023–2024 рр.,
 $\bar{X} \pm 2\sigma$, мкЗв/год

Місяць	Пункт 1		Пункт 2	
	2023 р.	2024 р.	2023 р.	2024 р.
Січень	0,14 ± 0,03	0,14 ± 0,03	0,12 ± 0,02	0,11 ± 0,02
Лютий	0,12 ± 0,03	0,13 ± 0,03	0,10 ± 0,03	0,11 ± 0,03
Березень	0,12 ± 0,03	0,12 ± 0,03	0,12 ± 0,03	0,12 ± 0,03
Квітень	0,14 ± 0,02	0,14 ± 0,02	0,12 ± 0,03	0,13 ± 0,03
Травень	0,12 ± 0,03	0,12 ± 0,03	0,10 ± 0,02	0,11 ± 0,02
Червень	0,11 ± 0,02	0,11 ± 0,02	0,13 ± 0,03	0,13 ± 0,03
Липень	0,12 ± 0,02	0,12 ± 0,02	0,11 ± 0,03	0,12 ± 0,03
Серпень	0,10 ± 0,03	0,12 ± 0,03	0,10 ± 0,03	0,12 ± 0,03
Вересень	0,13 ± 0,03	0,13 ± 0,03	0,12 ± 0,03	0,12 ± 0,03
Жовтень	0,12 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,11 ± 0,03	0,12 ± 0,03
Листопад	0,11 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,11 ± 0,03	0,11 ± 0,03
Грудень	0,12 ± 0,02	0,12 ± 0,02	0,12 ± 0,01	0,12 ± 0,01
Середньорічне	0,11 ± 0,02	0,12 ± 0,02	0,12 ± 0,03	0,12 ± 0,03

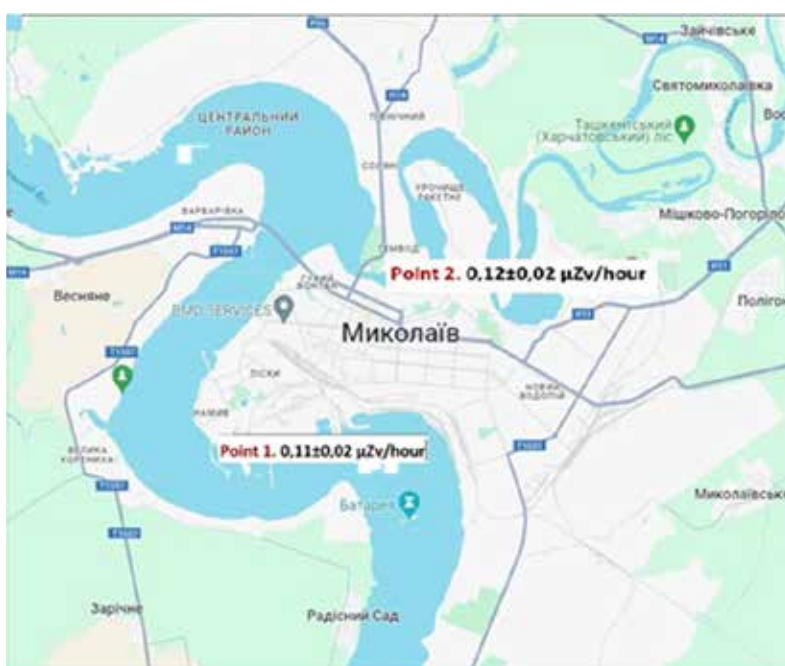


Рис. 1. Фрагмент карти EDRA_Myko (Effective dose rate of atmospheric air, Mykolaiv)

Для порівняння проаналізовано дані про радіаційний фон на місцевості 30-кілометрової зони ПАЕС (табл. 2).

Як видно з таблиці 2, середні значення потужності ефективної дози атмосферного повітря в контрольних постах коливалися від 0,09 до 0,15 мкЗв/год. Розкид цих величин обумовлений геологічними особливостями Миколаївщини та наявністю в центрі та на півночі області геологічних розломів із

виходом кристалічних порід (які характеризуються більш високим вмістом природних радіонуклідів рядів уран-радію і торію). Саме для територій центру та півночі області характерні більш високі величини потужності ефективної дози на відкритій місцевості.

Ці показники майже не відрізнялися від значень, які отримані під час моніторингу «нульового» фону в районі ПАЕС за

Таблиця 2

Середньомісячні величини потужності ефективної дози в населених пунктах
30-кілометрової зони ПАЕС у 2022, 2023, 2024 рр.

Пункт спостереження	$\bar{X} \pm 2\sigma$, мкЗв*/год		
	2022 р.	2023 р.	2024 р.
На проммайданчику ПАЕС	0,11 ± 0,02	0,12 ± 0,02	0,12 ± 0,02
смт Арбузинка	0,13 ± 0,03	0,15 ± 0,03	0,15 ± 0,03
с. Бузьке	0,13 ± 0,03	0,14 ± 0,03	0,14 ± 0,03
с. Агрономія	0,14 ± 0,03	0,14 ± 0,02	0,14 ± 0,02
смт Костянтинівка	0,10 ± 0,02	0,11 ± 0,02	0,11 ± 0,02
с. Іванівка	0,12 ± 0,02	0,11 ± 0,02	0,11 ± 0,02
с. Благодатне	0,13 ± 0,02	0,13 ± 0,02	0,13 ± 0,02
м. Вознесенськ	0,10 ± 0,02	0,10 ± 0,02	0,10 ± 0,02
смт Олександрівка	0,13 ± 0,02	0,12 ± 0,02	0,12 ± 0,02
смт Доманівка	0,11 ± 0,02	0,11 ± 0,02	0,11 ± 0,02
с. Богданівка	0,12 ± 0,03	0,13 ± 0,03	0,13 ± 0,03
м. Южноукраїнськ	0,10 ± 0,02	0,11 ± 0,02	0,11 ± 0,02

1979–1980 рр. Найбільші величини потужності ефективної дози характерні для ділянок, де скелясті породи з рожево-сірих гранітів виходять на поверхню: це території вздовж узбережжя р. Південний Буг. У цих місцях потужність ефективної дози перебувала в межах 0,25–0,35 мкЗв/год. На відстані 5–10 км у бік від русла річки гранітні масиви частково вкриті осадовими породами, тому потужність дози гамма-випромінювання відкритої місцевості в цих місцях зменшувалася до 0,10–0,11 мкЗв/год.

Цей порівняльний аналіз вказав, що в м. Миколаєві та в населених пунктах Миколаївської області в період військових дій величини потужності ефективної дози атмосферного повітря не виходили за межі коливань природного радіаційного фону.

Результати радіометрії проб опадів з атмосфери в м. Миколаєві наведено в таблиці 3. Загальна бета-активність опадів становила в середньому $12,1 \pm 2,4$ Бк/(місяць*м²). Вміст ¹³⁷Cs у цих опадах становив $1,2 \pm 0,4$ Бк/(місяць*м²).

Сумарна бета-активність опадів з атмосфери в м. Миколаєві становила в середньому $12,9 \pm 3,1$ Бк/(місяць*м²). Активність ¹³⁷Cs в опадах дорівнювала в середньому $1,4 \pm 0,3$ Бк/(місяць*м²).

За даними постійного радіаційного моніторингу опадів з атмосфери у м. Миколаєві загальна бета-активність опадів з атмосфери в 1990–2000 рр. варіювала в межах 11–25 Бк/(місяць*м²), а вміст ¹³⁷Cs не перевищував 2,2 Бк/(місяць*м²). З матеріалів оцінки нульового фону навколо ПАЕС (Томілін, 1980) маємо, що сумарна бета-активність атмосферного повітря в містах Южноукраїнськ, Вознесенськ коливалася в межах 0,200–0,700 Бк/л, активність ¹³⁷Cs атмосферного повітря не перевищувала 2,5 мБк/л, активність ⁹⁰Sr не перевищувала 2,0 мБк/л.

У таблиці 4 наведено дані, які вказують, що під час пересування в атмосферному просторі України радіоактивної хмари з ¹⁰⁶Ru у вересні 2017 р. (через аварійне його витікання на російському підприємстві з пере-

Таблиця 3

Результати радіометрії проб опадів з атмосфери в м. Миколаєві у 2023 і 2024 рр.

Експозиція	Загальна бета-активність, Бк/(місяць*м ²)		Вміст ¹³⁷ Cs, Бк/(місяць*м ²)	
	2023 р.	2024 р.	2023 р.	2024 р.
1 квартал	12,0 ± 3,0	12,4 ± 3,0	1,0 ± 0,2	1,1 ± 0,2
2 квартал	12,9 ± 3,5	13,1 ± 3,0	0,9 ± 0,1	1,0 ± 0,1
3 квартал	13,4 ± 2,6	13,9 ± 2,4	1,4 ± 0,2	1,2 ± 0,2
4 квартал	14,0 ± 3,0	14,1 ± 3,0	1,3 ± 0,3	1,2 ± 0,3

Таблиця 4

Результати радіометрії проб атмосферного повітря в населених пунктах Миколаївської області під час перенесення радіоактивної хмари з ^{106}Ru у вересні 2017 р.

Населений пункт	Вміст ^{106}Ru , Бк/м ³
м. Южноукраїнськ	$1,6 \cdot 10^{-2}$
с. Бузьке	$2,4 \cdot 10^{-2}$
смт Арбузинка	$2,9 \cdot 10^{-2}$
с. Костянтинівка	$2,3 \cdot 10^{-2}$
Середнє значення	$(2,3 \pm 0,3) \cdot 10^{-2}$

роблення ядерного палива «Маяк») у пробах атмосферного повітря та пробах атмосферних опадів реєструвався ^{106}Ru у підвищених кількостях. Рутеній-106 є бета-радіоактивним. Тому присутність його в атмосферному повітрі не могла призводити до підвищення рівня потужності ефективної / експозиційної дози, за показниками чого, як показано вище, здійснюється радіаційний контроль стану атмосферного повітря.

Результати радіометрії проб атмосферного повітря в цих населених пунктах вказали, що вміст ^{106}Ru значно підвищився, досягнувши величини $0,03 \text{ Бк/м}^3$. Цей β -випромінюючий радіонуклід в опадах з атмосфери було зафіксовано також у м. Южноукраїнську Миколаївської області та в прилеглих населених пунктах (табл. 5). Середнє значення вмісту ^{106}Ru в опадах з атмосфери становило $4,1 \pm 0,2 \text{ Бк/(місяць} \cdot \text{м}^2)$.

У м. Миколаєві такий контроль не проводився, тому інформація про вміст рутенію-106 в атмосферному повітрі й атмосферних опадах відсутня. Вважаємо, що цей факт є показовим щодо того, що радіоекологічний моніторинг атмосферного повітря під час підвищених ризиків виникнення

надзвичайної ситуації на АЕС, як це є під час військових дій, потрібно розширити до обов'язкової радіометрії проб опадів з атмосфери та, якщо є можливість, – радіометрії проб атмосферного повітря.

Висновки

У період військових дій у 2022–2024 рр. потужність ефективної дози атмосферного повітря в м. Миколаєві становила $0,12 \pm 0,01 \text{ мкЗв/год}$; у населених пунктах – постах контролю 30-кілометрової зони Південноукраїнської АЕС – $0,12 \pm 0,02 \text{ мкЗв/год}$ з розкидом від $0,09$ до $0,15 \text{ мкЗв/год}$. Цей розкид значень обумовлений геологічними особливостями Миколаївщини з виходом на поверхню в центрі та на півночі області кристалічних порід з підвищеним вмістом продуктів ділення уран-радієвого ряду. Порівняно з даними моніторингу цих територій під час зняття «нульового» фону району Південноукраїнської АЕС встановлено, що в м. Миколаєві та в населених пунктах Миколаївської області в період військових дій величини потужності ефективної дози атмосферного повітря не виходили за межі коливань природного радіаційного фону.

Загальна бета-активність опадів з атмосфери в м. Миколаєві у 2023 і 2024 рр. становила в середньому $12,9 \pm 3,1 \text{ Бк/(місяць} \cdot \text{м}^2)$. Вміст ^{137}Cs у цих опадах становив у середньому $1,4 \pm 0,3 \text{ Бк/(місяць} \cdot \text{м}^2)$, що відповідає природним рівням опадів з атмосфери.

Під час пересування в атмосферному просторі України радіоактивної хмари з ^{106}Ru у вересні 2017 р. середнє значення його вмісту в повітрі населених пунктів на півночі Миколаївської області становило $(2,3 \pm 0,3) \cdot 10^{-2} \text{ Бк/м}^3$. Загальна бета-активність опадів з атмосфери зросла до $13,9 \pm 1,8 \text{ Бк/(місяць} \cdot \text{м}^2)$, активність ^{106}Ru

Таблиця 5

Результати радіометрії проб опадів з атмосфери в окремих населених пунктах Миколаївської області під час перенесення радіоактивної хмари з ^{106}Ru у вересні 2017 р.

Населений пункт	Загальна бета-активність, Бк/(місяць*м ²)	Вміст ^{137}Cs , Бк/(місяць*м ²)	Вміст ^{106}Ru Бк/(місяць*м ²)
м. Южноукраїнськ	$13,8 \pm 3,0$	$1,1 \pm 0,2$	$4,1 \pm 0,2$
с. Бузьке	$12,9 \pm 3,5$	$0,9 \pm 0,1$	$3,9 \pm 0,1$
смт Арбузинка	$13,4 \pm 2,6$	$1,1 \pm 0,2$	$4,1 \pm 0,2$
с. Костянтинівка	$14,7 \pm 3,0$	$1,3 \pm 0,3$	$4,3 \pm 0,3$
Середнє значення	$13,9 \pm 1,8$	$1,0 \pm 0,2$	$4,1 \pm 0,2$

становила $4,1 \pm 0,2$ Бк/(місяць*м²). У пробах атмосферного повітря вміст ¹⁰⁶Ru дорівнював 0,03 Бк/м³. При цьому потужність ефективної дози атмосферного повітря не змінилася. Це вказує, що під час підвищених ризиків виникнення надзвичайної ситуації на АЕС, як це є під час військових дій, радіоекологічний моніторинг атмосферного повітря потрібно розширити до обов'язкової радіометрії проб опадів з атмосфери

та, якщо є можливість, – радіометрії проб атмосферного повітря.

Вимірювання потужності ефективної дози атмосферного повітря разом з радіометрією проб опадів з атмосфери й атмосферного повітря дасть змогу вчасно реагувати на можливі зміни радіонуклідного складу атмосферного повітря як від гамма-випромінюючих радіонуклідів, так і від чистих бета-випромінюючих радіонуклідів.

Список використаної літератури

- Барбашев С.В., Скалозубов С.І. Радіаційний вплив аварії на АЕС «Фукусіма-1» на навколишнє середовище і населення та оцінка радіаційних ризиків від запроектованих аварій на АЕС з ВВЕР-1000. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2012. № 1. С. 10–15. [https://doi.org/10.32918/nrs.2012.1\(53\).02](https://doi.org/10.32918/nrs.2012.1(53).02).
- Бібік Т., Борзенков В., Остапенко І. Захищеність ядерних установок та збройні конфлікти: уроки України. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2025. № 1 (105). С. 62–69. [https://doi.org/10.32918/nrs.2025.1\(105\).07](https://doi.org/10.32918/nrs.2025.1(105).07).
- Вітько В. Брудна бомба на ЗАЕС. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення* : збірник наукових статей. Харків, 2022. С. 92–99.
- Вітько В. Про можливі наслідки ядерної аварії на Запорізькій АЕС. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення* : збірник наукових статей. Харків. 2023. С. 85–91.
- Вітько В., Карташов В., Хабарова Г. Радіаційний вплив АЕС України на кордоні суміжних країн. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення* : збірник наукових статей. Харків, 2020а. С. 110–114.
- Вітько В.І., Карташов В.В., Хабарова Г.В. Оцінка транскордонного впливу викидів радіонуклідів АЕС України при нормальних та аварійних умовах експлуатації. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки* : збірник наукових праць. Харків, 2020б. С. 92–98.
- Калда Г.С., Шевеля В.В., Рибалка К.А. Аналіз радіоактивного забруднення регіонів України та Польщі. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2022. № 6 (012). С. 59–65. <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.271222.59.911>.
- Кустов М., Слепужніков Е., Ліповой В, Хмирьов І., Дадашов І., Бускін О. Процедура реалізації методу штучного осадження радіоактивних речовин з атмосфери. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2019. № 3 (83). С. 13–25. [https://doi.org/10.32918/nrs.2019.3\(83\).02](https://doi.org/10.32918/nrs.2019.3(83).02).
- Литвиненко А.С. Військово-технологічні та соціогуманітарні дослідження в Національній Академії наук України під час російсько-української війни. *Наука та наукознавство*. 2023. № 2 (120). С. 95–115. <https://doi.org/10.15407/sofs2023.02.003>.
- Новосьолов Г., Масько М. Про радіаційний вплив Запорізької та Южно-Української АЕС на навколишнє середовище. *Ядерна енергетика та довкілля*. 2019. № 2 (14). С. 58–70. <https://doi.org/10.31717/2311-8253.19.1.8>.
- Томілін Ю. Радіаційна обстановка навколо Південноукраїнської атомної електростанції у передпусковий період (зняття нульового фону) : звіт НДР. Миколаїв, 1980. 147 с.
- Фаррахов О. Вражаючі фактори радіоактивного і хімічного забруднення атмосфери. Аналіз існуючих методів захисту населення. *Грааль науки*. 2022. № 17. С. 171–176. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.22.07.2022.030>.
- Chen B., Li Z., Yang Z. Nuclear Accident Emergency Response System: Radiation Field Estimation and Evacuation. *Sustainability*. 2022. No. 14. P. 5663. <https://doi.org/10.3390/su14095663>.
- Gellenoncourt A., Ayoub A., Haruko M. Wainwright. Optimizing radiation monitoring networks to improve emergency response strategies during nuclear power plant accidents. *Scientific Reports*. 2025. No. 15. P. 11914. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-95571-0>.
- Iatsyshyn A.V., Ivaschenko T.G., Matvieieva I.V., Zakharchenko J.V., Lahoiko A.M. Development of recommendations for improving the radiation monitoring system of Ukraine. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2023. No. 1254 (2023). P. 012109. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012109>.
- Fujibuchi T., Iwaoka K., Shimada Y., Nabatame K. The Accident at Tokyo Electric Power Company Incorporated's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: A Review of Radiation-Exposed Medical

Care and Waste (Secondary Publication). *Journal of Radiation Protection and Research*. 2024. Vol. 49 (2). P. 65–67. <https://doi.org/10.14407/jrpr.2023.00738>.

Povinec P., Katsumi H., Yutaka T. Fukushima Accident. 10 years after. 2021. 559 p. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-03914-9>.

Shogo T., Takeshi I., Takayuki I., Masako K. Review of Articles Related to the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Published in the Japanese Journal of Health Physics: Opinion and Others (Secondary Publication). *Journal of Radiation Protection and Research*. 2025. Vol. 50 (1). P. 1–9. <https://doi.org/10.14407/jrpr.2023.00703>.

References

Barbashev, S.V. & Skalozubov, S.I. (2012). Radiatsiyni vplyv avarii na AES “Fukushima-1” na navkolyshnie seredovyshche i naselennia ta otsinka radiatsiinykh ryzykiv vid zaproektnykh avarii na AES z VVER-1000 [Radiation Impact of the Fukushima-1 Accident on the Environment and Population and Assessment of Radiation Risks from Beyond Design Basis Accidents at NPPs with VVER-1000]. *Yaderna ta radiatsiina bezpeka [Nuclear and radiation safety]*, 1, 10–15. [https://doi.org/10.32918/nrs.2012.1\(53\).02](https://doi.org/10.32918/nrs.2012.1(53).02) [in Ukrainian].

Bibik, T. Borzenkov, V. Ostapenko, I. (2025). Zakhyschenist yadernykh ustanovok ta zbroini konflikty: uroky Ukrainy [Security of Nuclear Facilities and Armed Conflicts: Lessons from Ukraine]. *Yaderna ta radiatsiina bezpeka [Nuclear and radiation safety]*, 1 (105), 62–69. [https://doi.org/10.32918/nrs.2025.1\(105\).07](https://doi.org/10.32918/nrs.2025.1(105).07) [in Ukrainian].

Vitko, V. (2022) Brudna bomba na ZAES [Dirty bomb at ZNPP]. *Zbirnyk naukovykh prats “Ekolohichna bezpeka: Problemy i shliakhy vyrishennia – 2022” [Collection of scientific works “Environmental safety: Problems and solutions – 2022”]*. Kharkiv, pp. 92–99 [in Ukrainian].

Vitko, V. (2023) Pro mozhyvi naslidky yadernoi avarii na Zaporizkii AES [On possible consequences of the nuclear accident at Zaporizhzhya NPP]. *Zbirnyk naukovykh prats “Ekolohichna bezpeka: Problemy i shliakhy vyrishennia – 2023” [Collection of scientific works “Environmental safety: Problems and solutions – 2023”]*. Kharkiv, pp. 85–91 [in Ukrainian].

Vitko, V. & Kartashov, V. & Khabarova, H. (2020). Radiatsiyni vplyv AES Ukrainy na kordoni sumizhnykh krain [Assessment of the transboundary impact of radionuclide emissions from Ukrainian NPPs under normal and emergency operating conditions] *Zbirnyk naukovykh prats “Ekolohichna bezpeka: Problemy i shliakhy vyrishennia – 2020” [Collection of scientific works “Environmental safety: Problems and solutions – 2020”]*. Kharkiv, pp. 110–114 [in Ukrainian].

Vitko, V., Kartashov, V. & Khabarova, H. (2020). Otsinka transkordonnoho vplyvu vykydiv radionuklidiv AES Ukrainy pry normalnykh ta avariynykh umovakh ekspluatatsii [Assessment of the transboundary impact of radionuclide emissions from Ukrainian NPPs under normal and emergency operating conditions]. *Zbirnyk naukovykh prats “Ekolohichna bezpeka: Problemy i shliakhy vyrishennia – 2020” [Collection of scientific works “Environmental safety: Problems and solutions – 2020”]*. Kharkiv, pp. 92–98 [in Ukrainian].

Kalda, H.S., Shevelia, V.V., Rybalka, K.A. (2022). Analiz radioaktyvnoho zabrudnennia rehioniv Ukrainy ta Polshchi [Analysis of radioactive contamination in the regions of Ukraine and Poland]. *Ukrainskyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury [Ukrainian Journal of Construction and Architecture]*, 6 (012), 59–65. <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.271222.59.911> [in Ukrainian].

Kustov, M. (ed.) (2019). Protsedura realizatsii metodu shtuchnoho osadzhennia radioaktyvnykh rechovyh z atmosfery [The procedure for implementing the method of artificial deposition of radioactive substances from the atmosphere]. *Yaderna ta radiatsiina bezpeka [Nuclear and radiation safety]*, 3 (83), 13–25. [https://doi.org/10.32918/nrs.2019.3\(83\).02](https://doi.org/10.32918/nrs.2019.3(83).02) [in Ukrainian].

Lytvynenko, A.S. (2023). Viiskovo-tekhonolohichni ta sotsiohumanitarni doslidzhennia v Natsionalnii Akademii nauk Ukrainy pid chas rosiisko-ukrainskoi viiny [Military-technological and socio-humanitarian research at the National Academy of Sciences of Ukraine during the Russian-Ukrainian war]. *Nauka ta naukoznastvo [Science and science studies]*, 2 (120), 95–115. <https://doi.org/10.15407/sofs2023.02.003> [in Ukrainian].

Novosolov, H., & Masko, M. (2019). Pro radiatsiyni vplyv Zaporizkoi ta Yuzhno-Ukrainskoi AES na navkolyshnie seredovyshche [On the radiation impact of Zaporizhzhia and South-Ukrainian NPPs on the environment]. *Yaderna enerhetyka ta dovkillia [Nuclear Power and the Environment]*, 2 (14), 58–70. <https://doi.org/10.31717/2311-8253.19.1.8> [in Ukrainian].

Tomilin, Yu. (1980). Radiatsiina obstanovka navkolo Pivdennoukrainskoi atomnoi elektrostantsii u peredpuskovyi period (zniattia nulovoho fonu): zvit NDR [Radiation situation around the South

Ukrainian Nuclear Power Plant in the pre-launch period (zero background): Report of the research work]. Mykolaiv, 47 p. [in Ukrainian].

Farrakhov, O. (2022). Vrazhaiuchi faktory radioaktyvnoho i khimichnoho zabrudnennia atmosfery. Analiz isnuuiuchykh metodiv zakhystu naselennia [The impact of radioactive and chemical contamination of the atmosphere. Analysis of existing methods of public protection.] *Hraal nauky [The grail of science]*, 17, 171–176. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.22.07.2022.030> [in Ukrainian].

Gellenoncourt, A., Ayoub, A., & Wainwright Haruko, M. (2025). Optimizing radiation monitoring networks to improve emergency response strategies during nuclear power plant accidents. *Scientific Reports*, 15, 11914. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-95571-0> [in English].

Chen, B., Li, Z., & Yang, Z. (2022). Nuclear Accident Emergency Response System: Radiation Field Estimation and Evacuation. *Sustainability*, 14, 5663. <https://doi.org/10.3390/su14095663> [in English].

Iatsyshyn, A.V., Ivaschenko, T.G., Matvieieva, I.V., Zakharchenko, J.V., & Lahoiko, A.M. (2023). Development of recommendations for improving the radiation monitoring system of Ukraine. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1254 (2023), 012109. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012109> [in English].

Fujibuchi, T., Iwaoka, K., Shimada, Y., & Nabatame, K. (2024). The Accident at Tokyo Electric Power Company Incorporated's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: A Review of Radiation-Exposed Medical Care and Waste (Secondary Publication). *Journal of Radiation Protection and Research*, 49 (2), 65–67. <https://doi.org/10.14407/jrpr.2023.00738> [in English].

Povinec, P., Katsumi, H., & Yutaka, T. (2021). Fukushima Accident. 10 years after. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-03914-9> [in English].

Shogo, T., Takeshi, I., Takayuki, I., & Masako, K. (2025). Review of Articles Related to the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Published in the Japanese Journal of Health Physics: Opinion and Others (Secondary Publication). *Journal of Radiation Protection and Research*, 50 (1), 1–9. <https://doi.org/https://doi.org/10.14407/jrpr.2023.00703> [in English].

Отримано: 06.03.2025

Прийнято: 15.05.2025