

І. О. Павленко, О. В. Святун, О. В. Сваричевська, О. В. Гайдар, С. В. Телецька

Інститут ядерних досліджень НАН України, просп. Науки, 47, Київ, 03028, Україна

Аналіз радіаційного забруднення в зоні впливу дослідницького ядерного реактора Інституту ядерних досліджень НАН України та створення комплексної інформаційної системи «Моніторинг та безпека»

Ключові слова:

дослідницький ядерний реактор,
радіаційний моніторинг,
радіонукліди,
санітарно-захисна зона,
навколишнє природне середовище,
база даних,
комплексна інформаційна система

Досліджувалися показники системи радіаційного моніторингу навколишнього природного середовища в санітарно-захисній зоні (СЗЗ) дослідницького ядерного реактора Інституту ядерних досліджень (ІЯД) НАН України, а саме вперше рівні бета-активності за 2014–2023 рр. Для якісного проведення аналізу даних регулярного багаторічного моніторингу радіаційного стану у СЗЗ та зоні спостереження дослідницького ядерного реактора ВВР-М ІЯД НАН України в Центрі екологічних проблем атомної енергетики ІЯД НАН України була розроблена комплексна інформаційна система «Моніторинг та безпека», у структурі якої враховувалась вимога легкого її переносу на різні платформи реляційних баз.

Вступ

Дослідницький ядерний реактор (ДЯР) ВВР-М Інституту ядерних досліджень (ІЯД) НАН України протягом усіх років експлуатації був експериментальною базою для фундаментальних і прикладних досліджень у галузях ядерної та нейтронної фізики, радіаційної фізики, радіаційного та реакторного матеріалознавства, фізики та техніки реакторів, радіобіології та медицини.

Починаючи з пуску реактора 12 лютого 1960 р. і до сьогодні, проводиться регламентний радіаційний моніторинг на території санітарно-захисної зони (СЗЗ) і зони спостереження (ЗС).

Основними завданнями комплексного моніторингу є отримання даних щодо вмісту техногенних радіонуклідів реакторного походження в об'єктах довкілля в СЗЗ і ЗС; прогноз впливу на довкілля робіт зі зняття з експлуатації дослідницького реактора ВВР-М.

У цій роботі авторами досліджувалися показники системи радіаційного моніторингу навколишнього природного середовища в СЗЗ ДЯР ІЯД НАН України, а саме рівні сумарної бета-активності за 2014–2023 рр., які не були детально проаналізовані в попередніх статтях.

Радіаційний моніторинг впливу експлуатації ДЯР ВВР-М здійснювали відповідно до вимог чинного законодавства та «Положення ЦЭПАЭ ИЯИ НАН Украины по радиационному контролю объектов внешней среды», узгодженого головним санітарним лікарем Києва 05.06.1995 р. У зв'язку з тим, що ДЯР ВВР-М експлуатується в межах багатомільйонного Києва, такі дослідження є особливо актуальними для радіаційної безпеки населення і довкілля.

Матеріали і методи

Метою роботи є аналіз даних радіаційного моніторингу в СЗЗ ДЯР ВВР-М за 2014–2023 рр. Об'єктами

© І. О. Павленко, О. В. Святун, О. В. Сваричевська,
О. В. Гайдар, С. В. Телецька, 2024. Ліцензія CC BY 4.0

дослідження були питома бета-активність у приземному шарі атмосфери, пилу, що осідає, та атмосферних опадах, а також концентрація бета-активних аерозолів у повітрі.

Визначення рівнів радіоактивного забруднення повітря проводилося седиментаційним та аспіраційним методами [1]. Дослідження радіоактивного забруднення повітря виконували седиментаційним методом у 6 стаціонарних точках СЗЗ (рис. 1). Щільності випадань бета-активних радіонуклідів з осідаючим пилом та атмосферними опадами визначали в цих точках щомісячно. Об'ємна активність бета-аерозолів у повітрі визначалась за допомогою аспіраційного методу двічі на тиждень прокачуванням атмосферного повітря в контрольній точці.

Підготовку зразків і радіометричне та спектрометричне вимірювання вмісту в них радіонуклідів проводили в лабораторії Центру екологічних проблем атомної енергетики (ЦЕПАН) на підставі Положення з радіаційного контролю навколишнього природного середовища в СЗЗ та ЗС ДЯР ВВР-М ІЯД, узгодженого відповідно до п. 5.2 ДСП 6.177-2005-09-02 «Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України» Головного управління Держпродспожсłużби в Києві 31.01.2022 р. Вимірювання загальної бета-активності здійснювали на установці УМФ-1500.

Апаратура, що використовується для вимірювання, атестована та проходить регулярні планові перевірки. Під час виконання досліджень в основному застосовуються загальноприйняті методики. Похибка вимірювань не перевищує 20–35%.

Чотири зі стаціонарних точок — південь-1 (Пд-1), захід-1 (З-1), північний-захід-1 (ПнЗ-1) та північ-1 (Пн-1) — знаходяться на відстані не менше трьох висот вентиляційної труби реактора (~200 м), а дві — схід-1 (С-1) та південний-схід-1 (ПдС-1) — на відстані 100 і 120 м відповідно.

Основні результати досліджень

Радіоактивне навантаження в приземному шарі атмосфери формується за рахунок радіонуклідів як природного, так і штучного походження. На сьогодні природна складова сумарної бета-активності визначається ізотопами урану, торію, продуктами їхнього поділу та дочірними продуктами їхнього розпаду, а також іншими радіоізотопами природного утворення [2, 3].

Середньорічні значення щільності випадань бета-активних радіонуклідів з осідаючим пилом та

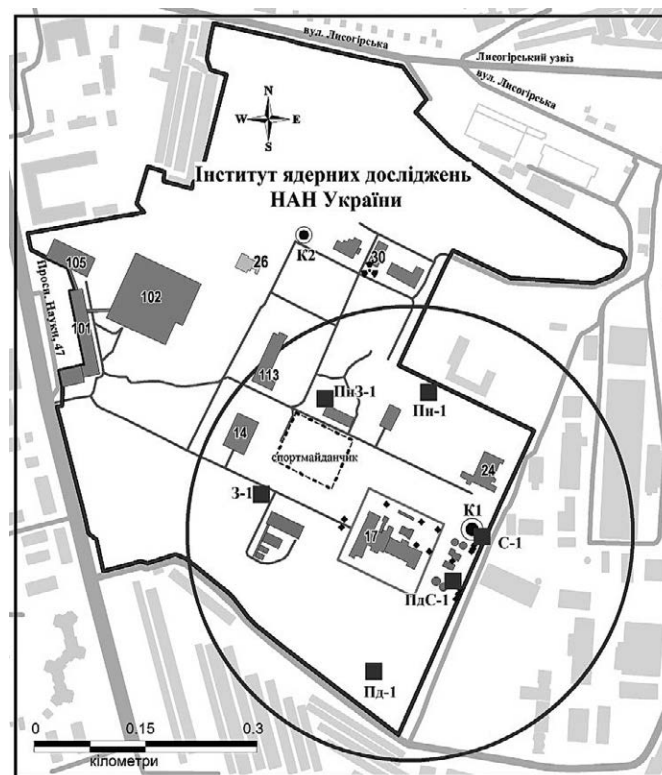


Рис. 1. Схема розміщення стаціонарних точок радіаційного контролю в СЗЗ

опадами в контрольних точках у СЗЗ у вказаний період коливалися від 5,7 до 14,8 Бк/м². Максимальні значення параметра спостерігалися у 2014–2015 рр. Аналіз показників поверхневої щільності випадань бета-активних радіонуклідів з осідаючим пилом та атмосферними опадами в СЗЗ ДЯР ВВР-М виявили особливості динаміки показників, а саме в ці роки спостерігали суттєве перевищення показників щільності випадань у стаціонарних точках у різні місяці (рис. 2). Враховуючи, що в 2014–2015 рр. ДЯР ВВР-М не працював, підвищення значень досліджуваного показника в ці періоди не пов'язане з впливом експлуатації реактора на приповерхневий шар атмосфери. Це може бути наслідком пожеж у Чорнобильській зоні. У 2015 р. була зафіксована наймасштабніша пожежа. Короткочасне підвищення величини досліджуваного показника може бути зумовлене продуктами горіння. З 2016 до 2023 р. суттєвих коливань цього параметра не спостерігали — 6,6–9,7 Бк/м² відповідає похибці вимірювань.

Показники концентрації бета-активних аерозолів у повітрі протягом останніх 10 років не демонстрували суттєвих коливань і варіювали від $2,40 \cdot 10^{-2}$ до $3,60 \cdot 10^{-2}$ Бк/м³, що вкладається в допустиму похибку і свідчить про те, що за весь період спосте-

режень не виявлено збільшення вмісту радіоактивних речовин у контрольних об'єктах навколишнього природного середовища (рис. 3). Однак під час аналізу динаміки концентрації бета-аерозолів у повітрі суттєвого зростання їхньої кількості у 2014–2015 рр. не спостерігалось. Це може бути пов'язано з відмінностями при відборі досліджуваного матеріалу в першому і другому випадках: за аспіраційного методу відбір матеріалу відбувається протягом двох годин раз на три дні; для аналізу щільності випадань бета-активних радіонуклідів накопичення матеріалу здійснюється протягом місяця. Отже, під час прокачування повітря в першому випадку міг бути відсутній вплив напрямку вітру на концентрацію бета-аерозолів у повітрі, а в разі накопичення матеріалу протягом місяця існувала набагато більша ймовірність надходження бета-активних радіонуклідів в осідаючий пил та опади.

Для якісного проведення аналізу даних регулярного багаторічного моніторингу радіаційного стану у СЗЗ та ЗС ДЯР ВВР-М ІЯД НАН України [4–6], а також для розробки науково обґрунтованих підходів до оптимізації розташування стаціонарних точок контролю з урахуванням зміни етапів циклу функціонування ядерної установки і природних умов було необхідно створити комплексну базу даних (інформаційну систему). Для цього в ЦЕПАЕ ІЯД НАН України була розроблена комплексна інформаційна система «Моніторинг та безпека», у структурі якої враховувалась вимога легкого її переносу на різні платформи реляційних баз [7]. Ця структура включає два основних блоки:

а) блок таблиць даних регулярного моніторингу за стаціонарною мережею точок контролю. Таблиці мають структуру, що максимально відповідає встановленій формі подання даних експериментальних

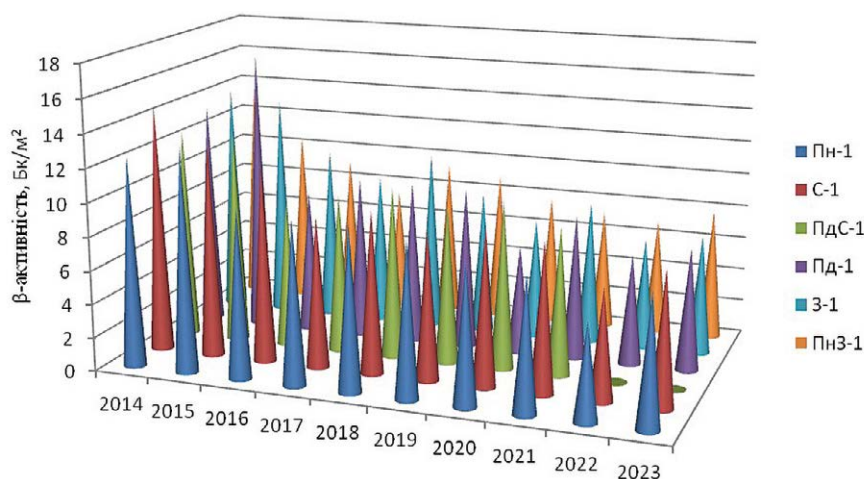


Рис. 2. Сумарна питома бета-активність осідаючого пилу та атмосферних випадань

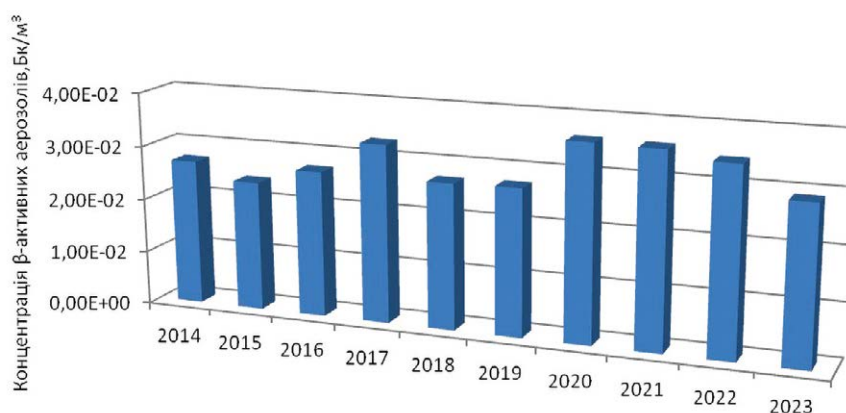


Рис. 3. Середньорічна концентрація бета-активних аерозолів у повітрі

визначень за окремими контрольованими показниками, що спрощує введення даних та їхній попередній аналіз;

б) блок таблиць даних комплексної інформаційної системи, яка, базуючись на уніфікованому підході з використанням спрощеної структури таблиць, давала можливість користувачеві розширювати перелік об'єктів та їхніх атрибутивних ознак. При цьому важливого значення набуває проблема включення даних з різною повнотою та детальністю опису, використання різних систем одиниць фізичних величин.

Блок таблиць даних регулярного моніторингу за стаціонарною мережею точок контролю в СЗЗ та ЗС ВВР-М ІЯД НАН України включає 8 спеціалізованих таблиць, структура яких відповідає структурі даних параметрів контрольованих об'єктів навколишнього середовища, а саме:

таблиця даних визначень бета-активності опадів та випадань;

таблиця даних визначень вмісту ^{137}Cs та ^{90}Sr у зразках верхнього шару ґрунту;

таблиця даних визначень вмісту ^{137}Cs та ^{90}Sr у зразках рослинності;

таблиця даних визначень вмісту ^3H у зразках стічних вод, талої води та березового соку;

таблиця даних визначень вмісту ^{137}Cs та ^{90}Sr у зразках, відібраних зі спостережуваних свердловин;

таблиця даних визначення загальної питомої бета-активності у скидних водах ІЯД НАН України;

таблиця даних визначення об'ємної активності у пробах приземного шару повітря;

таблиця даних визначення потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання в контрольних точках.

Під час розробки структури комплексної інформаційної системи «Моніторинг та безпека» враховувалась вимога легкого її переносу на різні платформи реляційних баз. На початковому етапі використано MS ACCESS [8]. Основу комплексної інформаційної системи складають 5 основних таблиць: таблиця об'єктів та чотири таблиці з їхніми атрибутивними даними (рис. 4).

Для аналізу просторово розподіленої інформації використовується сучасне програмне забезпечення MapInfo [9].

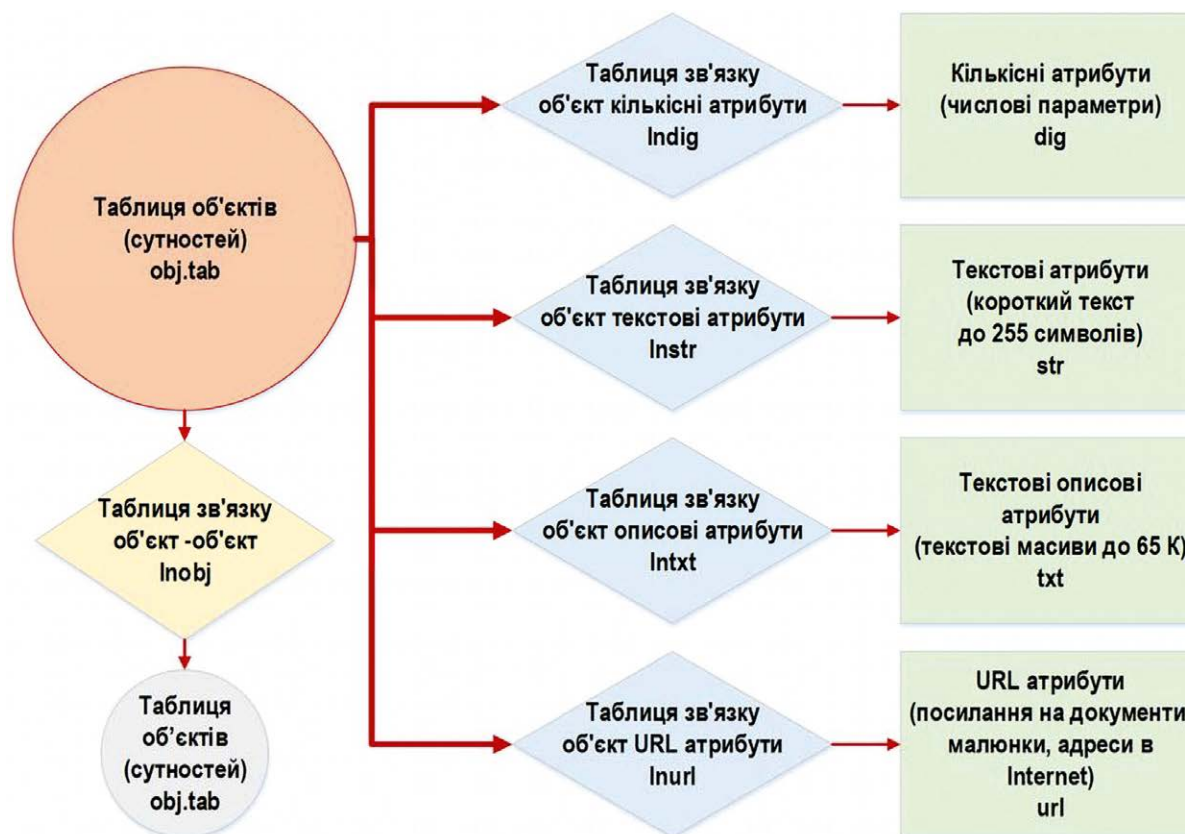


Рис. 4. Схема взаємозв'язків між основними таблицями комплексної інформаційної системи «Моніторинг та безпека»

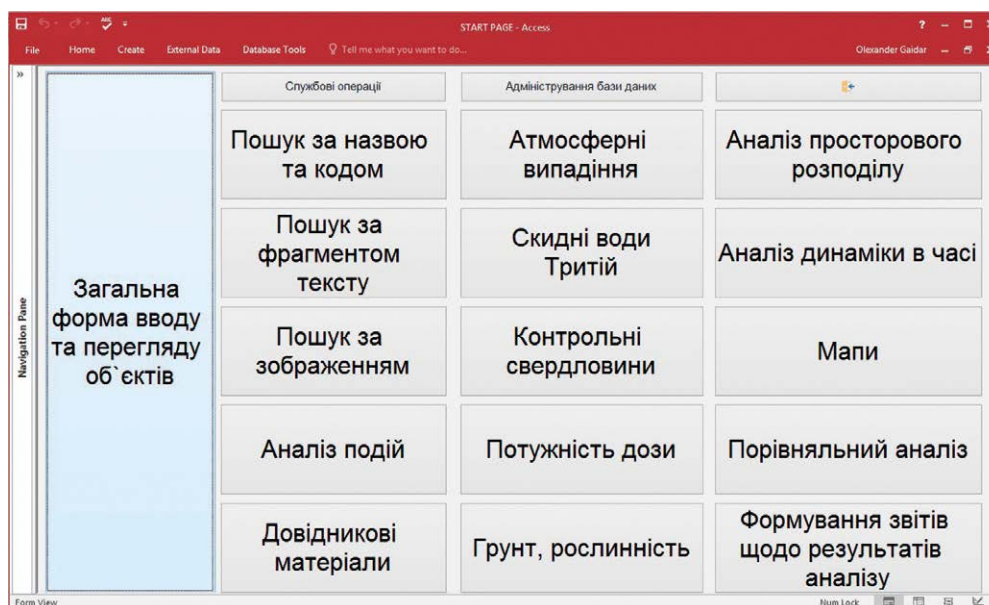


Рис. 5. Основна екранна форма інтерфейсу користувача

Також обране програмне забезпечення дає змогу здійснювати:

прямий доступ до файлів із даними у форматі таблиць Microsoft Excel, Microsoft Access;

імпорт даних та графічних файлів різних форматів;

перегляд даних одночасно у графічній і табличній формах. Технологія синхронного представлення даних дає змогу відкривати одночасно кілька вікон, що містять ті самі дані, причому зміна даних в одному з вікон супроводжується автоматичною зміною представлення цих даних у всіх інших вікнах.

Для окремих груп чи класів об'єктів розроблені спеціалізовані форми представлення інформації з урахуванням її характеру (рис. 5).

Висновки

Результати радіаційного моніторингу приземного шару атмосферного повітря на території СЗЗ ДЯР ВВР-М свідчать, що за період 2014–2023 рр. не виявлено достовірного зростання вмісту радіоактивних речовин у контрольованих об'єктах навколишнього природного середовища.

Розроблена в ЦЕПАЕ ІЯД НАН України комплексна інформаційна система «Моніторинг та безпека» дає змогу систематизувати отримані дані моніторингу, постійно поповнювати їхню базу та представляти результати в зручному і сучасному вигляді.

Список використаної літератури

1. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды / под ред. Л. Н. Марья, А. С. Зыковой. — Москва, 1980. — 356 с.
2. Гірій В. А. Динаміка радіоактивного забруднення приземного шару атмосфери у постчорнобильський період / В. А. Гірій, О. О. Косовець, Ж. В. Лук'янова // Праці Центральної геофізичної обсерваторії. — 2009. — Вип. 5 (19). — С. 21–31.
3. Звіт Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського. Розділ 3. Радіоактивне забруднення атмосферного повітря. — Київ: ЦГО, 2023. — С. 22–29.
4. Радіаційний моніторинг об'єктів навколишнього природного середовища в зоні впливу дослідницького ядерного реактора ВВР-М ІЯД НАН України / В. В. Тришин, О. В. Сваричевська, І. О. Павленко [та ін.] // Ядерна фізика та енергетика. — 2010. — Т. 11. — С. 165–168.
5. Аналіз динаміки показників сумарної питомої β -активності осідаючого пилу та атмосферних випадін у санітарно-захисній зоні реактора ВВР-М ІЯД НАН України за 2014–2018 рр. / І. О. Павленко, О. В. Сваричевська, А. Д. Саженьюк [та ін.] // Ядерна фізика та енергетика. — 2020. — Т. 21. — С. 58–63.
6. Аналіз результатів радіаційного стану в санітарно-захисній зоні та зоні спостереження дослідницького ядерного реактора ВВР-М Інституту ядерних досліджень НАН України в 2021 році / О. В. Гайдар,

- В. В. Тришин, О. В. Сваричевська [та ін.] // Ядерна фізика та енергетика. — 2023. — Т. 24. — С. 131–13.
7. Звіт про науково-дослідну роботу «Дослідження процесів формування техногенного забруднення в межах великого агломераційного комплексу за рахунок надходження важких металів та радіонуклідів у навколишнє середовище». — Київ: НАН України, Ін-т ядерних досліджень, 2020. — 227 с.
 8. Microsoft Access. — Режим доступу: <https://www.microsoft.com/uk-ua/microsoft-365/access>.
 9. MapInfo Professional. — Режим доступу: <https://www.geoguide.com.ua/software/software.php?part=pitney&art=mapinfo>.

**I. O. Pavlenko, O. V. Sviatun, O. V. Svarychevska,
O. V. Gaidar, S. V. Teletska**

*Institute for Nuclear Research, NAS of Ukraine,
47, Nauky ave, Kyiv, 03028, Ukraine*

Analysis of Radiation Pollution in the Zone of Influence of the Research Nuclear Reactor of the Institute for Nuclear Research of the National Academy of Sciences of Ukraine and the Creation of an Integrated Information System “Monitoring and Safety”

WWR-M nuclear research reactor (NRR) of the Institute for Nuclear Research (INR) of the National Academy of Sciences of Ukraine was an experimental base for scientific research. During the entire period of operation of the reactor the regular radiation monitoring is carried out on the territory of the sanitary protection zone (SPZ) and the observation zone.

In this article, the authors studied several indicators of the radiation monitoring system of the natural environment in the SPZ of NRR namely the level of beta-activity for 2014–2023. It was established that the indicators of the concentration of beta-active aerosols in the air during the last ten years did not show significant fluctuations, which indicates that during the entire period of observation, no increase in the content of radioactive substances was detected in the control objects of the natural environment. But during the study of the average annual values of the density of beta-active radionuclides with settling dust and precipitation at control points in the SPZ in the specified period, the maximum values of this parameter were observed in 2014–2015, which may be a consequence of the fires in the Chornobyl zone.

A comprehensive database has been created to develop science-based approaches to optimize the location of stationary control points taking into account changes in the stages of the nuclear installation operation cycle and natural conditions, and to systematize radiation monitoring data.

Keywords: nuclear research reactor, radiation monitoring, radionuclides, sanitary protection zone, natural environment, database, integrated information system.

References

1. Marey A. I., Zyкова A. S. (eds) (1980). *Metodicheskie rekomendatsyi po sanitarnomu kontroliu za sodержaniyem radioaktivnykh veshchestv v objektakh vneshnei sredy*. [Guidelines for sanitary control of the content of radioactive substances in the environment]. Moscow. 356 p. (in Rus.)
2. Hirii V. A., Kosovets O. O., Lukianova Zh. V. (2009). [Dynamika radioaktyvnoho zabrudnennia pryzemnoho sharu atmosfery u postchornobylskiy period.] *Pratsi Tsentralnoi heofizychnoi observatorii* [Proceedings of the Central Geophysical Observatory], vol. 19, no. 5, pp. 21–31. (in Ukr.)
3. Boris Sresnevsky Central Geophysical Observatory (2023). *Zvit Tsentralnoii heofizychnoi observatorii imeni Borysa Sreznevskoho. Rozdil 3. Radioaktyvne zabrudnennia atmosfernoho povitria*. [Report of the Borys Sresnevsky Central Geophysical Observatory. Chapter 3. Radioactive pollution of atmospheric air] Kyiv: Boris Sresnevsky Central Geophysical Observatory of the State Emergency Service of Ukraine, pp. 22–29. (in Ukr.)
4. Tryshyn V. V., Svarychevka O. V., Pavlenko I. O., Dzyatkovska N. M., Sazheniuk A. D., Kuzmina A. Y. (2010). [Radiation monitoring of environmental objects in the zone of influence of the WWR-M research nuclear reactor of the KINR of National Academy of Sciences of Ukraine]. *Yaderna fizyka ta enerhetyka* [Nuclear Physics and Atomic Energy], vol. 11, no. 4, pp. 165–168. (in Ukr.)
5. Pavlenko I. O., Svarychevska O. V., Sazheniuk A. D., Sviatun O. V., Teletska S. V. (2020). [Analysis of the dynamics of indicators of the total specific β -activity of settling dust and atmospheric precipitation in the sanitary protection zone of the WWR-M reactor of Institute for Nuclear Research of National Academy of Sciences of Ukraine for 2014–2018]. *Yaderna fizyka ta enerhetyka* [Nuclear Physics and Atomic Energy], vol. 21, no. 1, pp. 58–63. (in Ukr.)
6. Gaidar O. V., Tryshyn V. V., Svarychevska O. V., Pavlenko I. O., Sviatun O. V., Maliuk I. A., Teletska S. V. (2023). [Analysis of the results of the radiation status in the sanitary protection zone and the observation zone of the WWR-M

- research nuclear reactor of the Institute for Nuclear Research of the National Academy of Sciences of Ukraine in 2021]. *Yaderna fizyka ta enerhetyka* [Nuclear Physics and Atomic Energy], vol. 24 (2), pp. 131–137. (in Ukr.)
7. *Doslidzhennia protsesiv formuvannia tekhnohennoho zabrudnennia v mezhakh velykoho ahlomeratsiinoho kompleksu za rakhunok nadkhodzhennia vazhkykh metaliv ta radionuklidiv u navkolyshnie seredovyshche* [Report on the research work “Investigation of the processes of the formation of man-made pollution within the limits of a large agglomeration complex due to the entry of heavy metals and radionuclides into the environment”]. Kyiv: Institute for Nuclear Research of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2020, 227 p. (in Ukr.)
8. *Microsoft Access*. Available at: <https://www.microsoft.com/uk-ua/microsoft-365/access>.
9. *MapInfo Professional*. Available at: <http://www.geoguide.com.ua/software/software.php?part=pitney&art=mapinfo>.

Надійшла 18.06.2024

Received 18.06.2024