УДК 614.8.086.5(2)+539.12.047

Зелінський С.Е.,
доктор наук з державного управління, доцент,
директор Регіонального центру підвищення кваліфікації
Кіровоградської області,
(Україна, Кропивницький), s_zel@ukr.net

ЕКОЛОГІЧНИЙ ВПЛИВ УРАНОВИХ ВИРОБНИЦТВ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ В УКРАЇНІ

DOI: 10.5281/zenodo.7265612

Серед питань радіаційної безпеки та екологічного впливу на довкілля для України найбільш критичними є рекультивація уранових відвалів шахт, хвостосховищ гідрометалургійних заводів та радонова безпека населення, зокрема в Дніпропетровській та Кіровоградській областях.

Україна входить в перші «десятки» країн світу за запасами покладів урану та за його виробництвом, має розвинену атомну енергетичну галузь з 15 ядерними реакторами на 4 АЕС, для яких уран є основним ядерним паливом. Останні декілька років в Україні частка електроенергії, виробленої українськими АЕС, становить 51–58%, що актуалізує питання ядерної і радіаційної безпеки, особливо для областей, які знаходяться в межах Українського кристалічного щита.

Норми радіаційної безпеки в України, прийняті ще у 1997 р., вже не відповідають сучасним вимогам, що визначаються в Публікаціях Міжнародної комісії з радіаційного захисту. Відсутність реєстрів індивідуального опромінення як працівників уранової галузі та медичних закладів, так і населення не дозволяє мати реальну картину радіаційної безпеки та застосовувати норми законодавства щодо компенсації надлишкових доз опромінення.

Для обмеження опромінення населення України необхідно організувати обов'язкове радіаційно-гігієнічне обстеження земельних ділянок під різноманітні види діяльності, провести детальне обстеження дитячих установ, житлових та громадських будівель у населених пунктах та, насамперед, розташованих у межах виділених зон радононебезпеки; дослідити радіаційні показники основних джерел питного водопостачання; розробити та провести радонозахисні заходи.

З метою встановлення пріоритетів реабілітаційних заходів в Україні важливо запровадити радіаційно-гігієнічний паспорт регіону як показник радіаційного благополуччя. Першим кроком на шляху вирішення цієї проблеми є створення системи оперативного контролю, аналізу, оцінки та прогнозування радіаційної обстановки у регіонах України.

Ключові слова: *видобуток урану, джерела іонізуючого випромінювання, дози опромінення, ЕРОА, норми радіаційної безпеки, радон, хвостосховище, ядерне паливо, ядерне регулювання.*

Zelinskyi S.E.,
Doctor of Science in Public Administration,
Associate Professor,
Director of the Regional Center
for Advanced Training of the Kirovograd Region
(Ukraine, Kropyvnytskyi), s_zel@ukr.net

Environmental impact of uranium production and ensuring radiation safety in Ukraine

Among the issues of radiation safety and ecological impact on the environment, the most critical for Ukraine are the reclamation of uranium mine dumps, tailings storage facilities of hydrometallurgical plants, and radon safety of the population, in particular in the Dnipropetrovsk and Kirovohrad regions.

Ukraine is among the top "dozen" countries in the world in terms of uranium deposits and production, has a developed nuclear power industry with 15 nuclear reactors at 4 nuclear power plants, for which uranium is the main nuclear fuel. In recent years, the share of electricity produced by Ukrainian nuclear power plants in Ukraine has been 51–58%, which makes the issue of nuclear and radiation safety relevant, especially for the regions that are within the boundaries of the Ukrainian crystal shield.

The norms of radiation safety in Ukraine, adopted back in 1997, no longer meet the modern requirements defined in the Publications of the International Commission on Radiation Protection. The lack of individual exposure registers of both uranium industry workers and medical institutions, as well as the population, does not allow for a real picture of radiation safety and the application of legislation on compensation for excess radiation doses.

In order to limit the exposure of the population of Ukraine, it is necessary to organize a mandatory radiation-hygienic survey of land plots for various types of activities, to conduct a detailed survey of children's institutions, residential and public buildings in populated areas and, first of all, located within the boundaries of designated radon-hazard zones; to investigate the radiation indicators of the main sources of drinking water supply; develop and implement radon protection measures.

In order to establish the priorities of rehabilitation measures in Ukraine, it is important to introduce the radiation hygiene passport of the region as an indicator of radiation well-being. The first step towards solving this problem is the creation of a system of operational control, analysis, assessment and forecasting of the radiation situation in the regions of Ukraine.

Key words: *uranium mining, sources of ionizing radiation; radiation doses, EROA, radiation safety standards, radon, tailings storage facility, nuclear fuel, nuclear regulation.*

Постановка проблеми. Ядерна енергетика відіграє значну роль у виробництві електроенергії багатьох розвинених країн. У 2021 р. виробництво електроенергії в Україні склало 156,6 млрд. кВт-год. З початку травня 2021 р. в Україні частка електроенергії, яка вироблена атомними електростанціями (АЕС) становила 58,7% [1]. Основа ядерного палива для АЕС – уран. Україна входить в перші «десятки» світу за запасами урану і за виробництвом уранового концентрату та має розвинену атомну енергетичну галузь з 15 ядерними реакторами на чотирьох АЕС.

Разом з тим, приблизно 95% радіоактивних відходів (РАВ) в Україні продукують вітчизняні АЕС і підприємства з видобутку і переробки урану. При цьому важливо зазначити що РАВ утворюються на всіх етапах ядерного паливного циклу. Найбільш небезпечними є РАВ, які утворюються на АЕС: газоподібні, рідкі та тверді. Видобуток і переробка уранових руд, саме те, що здійснюється в Україні, для населення дає найбільший обсяг РАВ, які за фізичним станом поділяються на тверді та рідкі. Тому така велика кількість РАВ і їх газовий супутник – радон – становлять безпеку як для працівників ядерних об'єктів, так і для населення, яке мешкає навколо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні десятиліття питання ядерної та радіаційної безпеки активно розглядається в роботах зарубіжних (D. Appel, P. Diehl, J. Kreusch, W. Neumann, З. Асанкожоєва, А. Кулі-Заде, З. Біяшєва, Ю. Заріпова, О. Демакова, А. Журалієва, А. Чуніхін, А. Чеховський, Д. Дроздов) і вітчизняних (Ю. Сорока, Н. Дурасова, Г. Коваленко, Г. Лисиченко, В. Ковач, В. Вітько, Т. Дудар, Е. Мусіч, Ю. Деміхов, О. Шумлянський, А. Суботін, Т. Павленко, І. Лось, І. Комов, О. Фролов, П. Діденко, О. Лебедь, В. Мислінчук, О. Андрєєв, Г. Денисик, І. Козинська) науковців і дослідників. Також існує значна кількість документів МАГАТЕ та Публікацій МКЗР (Міжнародної комісії з радіологічного захисту), в яких сконцентровано не тільки вказівки і рекомендації, але й результати широкого кола досліджень в світовій ядерній сфері і радіаційній безпеці.

Мета статті – оцінити стан екологічного впливу на населення відходів видобування і переробки урану, визначити фактори радіаційної небезпеки та умови для її зменшення.

Виклад основного матеріалу.

Ресурсне забезпечення атомної енергетики. Ядерно-паливний цикл (рис. 1.1) починається із видобутку уранової руди – основної сировини для ядерного палива. За різними оцінками, в Україні ресурсна база уранових руд становить близько 560 тис. т, а підтверджені запаси – 270 тис. т [2]. Загалом в Україні до Державного балансу корисних копалин занесені 17 родовищ, з яких 14 розташовуються у Кіровоградській області, 2 – у Миколаївській та 1 – у Дніпропетровській. Сьогодні розробляються чотири (Мічурінське, Центральне, Ватутінське і Новокостянтинівське) (рис. 1.2), які знадяться в Кіровоградській області (Кіровоградський уранорудний район – КУРР). Найбільш перспективними для розробки залишаються Новоконстянтинівське, Західна зона Центрального, Северинське, Докучаєвське, Партизанське, а також Апрельське і Сафонівське родовища [3].

При видобуванні руди із вмістом урану 0,1% для отримання 1 т оксиду урану (уранового концентрату) необхідно видобути приблизно 1000 т руди, не рахуючи кількості порожньої породи від розкритих і прохідницьких виїмок.

Сьогодні роботи з видобутку (підземним способом) та переробки уранових руд в Україні здійснює державне підприємство «СхідГЗК». До його складу входять Смолінська шахта (працює з 1973 р.), яка розробляє Ватутінське родовище, та Інгульська шахта (працює з 1969 р.), що розробляє Мічурінське та Центральне родовища. Новокостянтинівське родовище за запасами урану – 93626 тонн (вміст урану в руді 0,14%), входить до десятки найбільших родовищ світу. Біля цих трьох шахт знаходяться відвали з мільйонами тонн відходів урановидобування.

Рис. 1.1. Ядерний паливний цикл

Крім державного підприємства «СхідГЗК», в майбутньому видобутком урану планують займатися і приватні компанії. Зокрема, це підприємство «Атомні енергетичні системи України» (АЕСУ) співвласника мережі супермаркетів «АТБ» Г. Буткевича [2]. В 2017 р. АЕСУ отримала ліцензії на розробку чотирьох українських уранових родовищ: Сафонівського, Михайлівського (Миколаївська область), Сурського та Новогуровського (Дніпропетровська область) (див. рис. 1.2).

Переробка уранових руд і отримання уранового концентрату («жовтий кек») здійснюється на Гідрометалургійному заводі (ГМЗ) в м. Жовті Води (Дніпропетровська область), який входить до складу ДП «СхідГЗК». Відходи (хвости) збагачення уранових руд зберігаються у спеціально обладнаному хвостосховищі «Балка «Щербаківська» (5 км від м. Жовті Води). У хвостосховищі «Балка «Щербаківська» накопичено близько 45 млн. т відходів уранового виробництва.

Одним із перших у СРСР підприємств з переробки уранової сировини було виробниче об'єднання «Придніпровський хімічний завод» (ПХЗ) у м. Дніпродзержинськ (зараз м. Кам'янське) Дніпропетровської області, який було введено в експлуатацію ще у 1947 р. З розпадом СРСР його основна діяльність із виробництва урану була припинена [4–5], але залишилися радіаційний радянський спадок – хвостосховища: «Західне», «Центральний Яр», «Південно-Східне», «Дніпровське», «Сухачівське», «Лантанова фракція», а також сховища відходів уранового виробництва «База С», ДП-6; будівля № 103 (цех для одержання закису-окису урану з азотнокислих розчинів).

Відходи-хвости складувалися у прилеглих до ПХЗ глиняних кар'єрах та ярах, які для цього були спеціально підготовлені. Розміщення хвостосховищ «Західне», «Дніпровське», «Південно-східне» та «Центральний Яр» поблизу р. Дніпро у разі значного водонасичення внаслідок підтоплення ґрунтовими водами може призвести до їхнього сповзання схилом та створення надзвичайної ситуації для користувачів річкової води.

У хвостосховищах ПХЗ накопичено до 42 млн. т відходів від переробки уранових руд загальною активністю радіонуклідів урану $3{,}2*10^{15}$ Бк (середня питома активність радіонуклідів урану – 76 кБк/кг). Загальна площа хвостосховищ 2,77 млн. $м^2$. Потужність експозиційної дози знаходиться в межах до 350 мкЗв/год [5].

Нормативи радіаційної безпеки. Радіаційна безпека населення переважно забезпечується обмеженням впливу від різних джерел іонізуючого випромінювання (ДІВ). Так, для АЕС встановлено норму на опромінення у розмірі 0,25 мЗв/рік середньої дози для населення (для нових АЕС – 0,1 мЗв/рік). Ці обмеження встановлені з урахуванням усіх скидів у навколишнє середовище за нормальної експлуатації ядерного об'єкта.

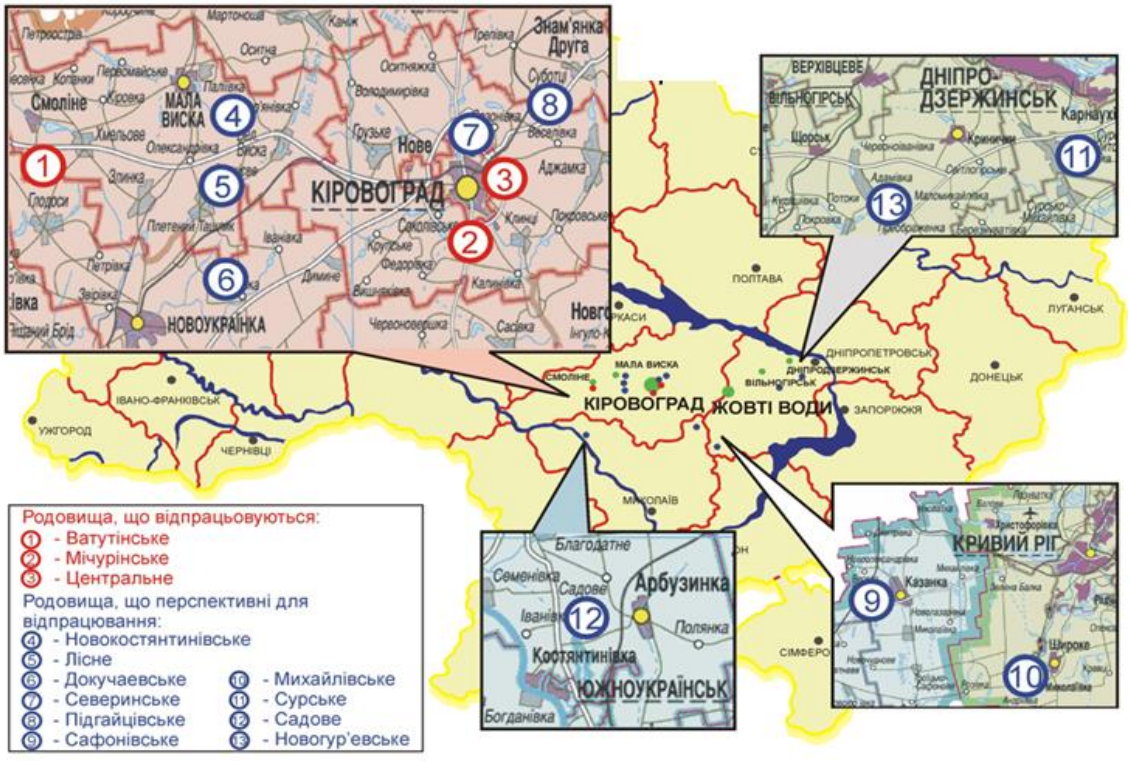

Рис. 1.2. Основні уранові родовища в Україні. Джерело: uatom.org

Щодо природного опромінення (рис. 1.3) загалом обмеження не встановлюються, проте обмежуються окремі природні джерела випромінювання. Наприклад, це вміст природних радіонуклідів у будівельних матеріалах та утримання радону у житлових приміщеннях.

Сучасний етап у розвитку норм радіаційної безпеки розпочався достатньо давно (у 1958 р.) з випуском офіційної першої публікації МКРЗ (Міжнародної комісії з радіологічного захисту). Вперше було сформульовано основний принцип радіаційної

безпеки, який передбачає отримання настільки низьких доз наскільки це можна досягти, нині відомий як АЛАРА (англ. ALARA – As Low As Reasonably Achievable). Допустимі рівні опромінення було знижено з 50 мЗв на рік для персоналу і 5 мЗв на рік для населення до 20 мЗв і 1 мЗв відповідно.

Ст. 3 закону України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання» забезпечує кожній людині, яка проживає або тимчасово перебуває на території України, право на захист від впливу іонізуючого випромінювання. Ст. 5 цього закону визначає, що основна дозова межа індивідуального опромінення населення не повинна перевищувати 1 (один) мілізіверт (мЗв) (114 мілірентген (мР), або 0,114 Р) ефективної дози опромінення за рік, при цьому середньорічні ефективні дози опромінення людини, віднесеної до критичної групи, не повинні перевищувати встановлених основних дозових меж опромінення незалежно від умов та шляхів формування цих доз.

У радіаційній безпеці найбільший інтерес становить кількісна оцінка впливу випромінювання на людину. *Базова дозиметрична величина* (поглинена доза) погано підходить для цієї мети, оскільки ризик виникнення спадкових та онкологічних наслідків залежить серед іншого від виду іонізуючого випромінювання та від радіочутливості органів і тканин людини. Для визначення отриманої людиною дози з урахуванням вищезгаданих факторів запроваджено спеціальну величину – *ефективну дозу*. Вона враховує як вид випромінювання так і радіочутливість органів за допомогою застосування зважувальних коефіцієнтів випромінювання та зважувальних коефіцієнтів тканини. Ефективна доза розраховується з використанням спеціальних антропоморфних моделей (фантомів) і відноситься до певної усередненої «умовної людини».

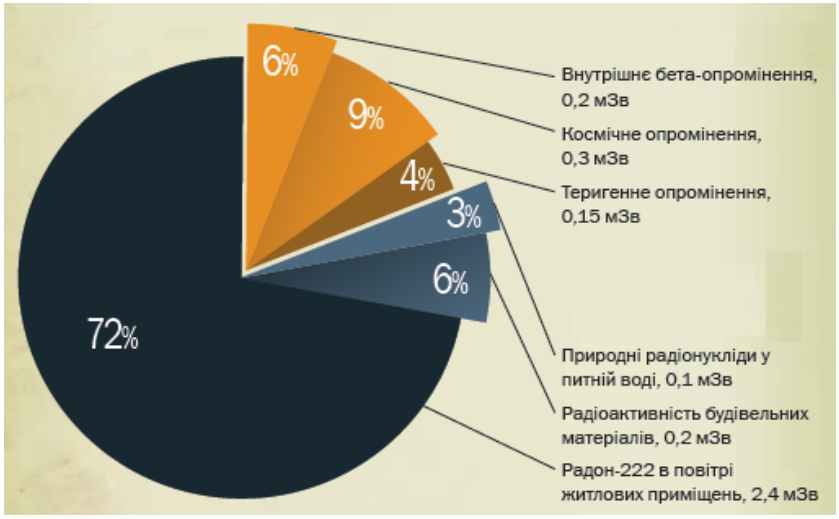

Рис. 1.3. Структура середньорічної дози опромінення населення України. Джерело [20]

Основним документом, що встановлює систему радіаційно-гігієнічних регламентів для забезпечення прийнятих рівнів опромінення, як для окремої людини, так і українського суспільства взагалі є Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97), затверджені постановою Головного санітарного лікаря України від 01.12.1997 № 62 (https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97#Text).

Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України, затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 02.02.2005 № 54 (https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0552-05#Text) встановлюються такі категорії осіб, які зазнають рівні опромінення:

– *категорія А* (персонал) – особи, які постійно, чи тимчасово працюють безпосередньо з ДІВ (ліміт ефективної дози – 20 мЗв/рік);

– *категорія Б* (персонал) – особи, які безпосередньо не зайняті роботою з ДІВ, але у зв’язку з розташуванням робочих місць в приміщеннях та на промислових майданчиках

об’єктів з радіаційно-ядерними технологіями можуть отримувати додаткове опромінення (ліміт ефективної дози – 2 мЗв/рік);

– *категорія В* – все населення (ліміт ефективної дози – 1 мЗв/рік).

Компенсація за перевищення річної основної дозової межі опромінення населення встановлюється у розмірі 1,2 неоподатковуваного мінімуму доходів громадян за кожний мілізіверт перевищення встановленої допустимої межі опромінення (ст. 19 закону України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання»).

Підставою для виплати компенсації особам за перевищення річної основної дозової межі опромінення є зафіксований *районним (міським) дозовим реєстром опромінення* факт перевищення річної основної дозової межі опромінення не з власної вини особи.

Небезпека уранових відвалів і хвостосховищ. Відвали порожніх порід займають на шахтах і кар'єрах багато тисяч квадратних метрів і є джерелами локального забруднення місцевості. В результаті вітрової ерозії відбувається здування пилу з поверхні відвалів, а також твердих продуктів розпаду радону, що постійно виділяється, і перенесення цього матеріалу на значні відстані. Відвали позабалансових руд і порожньої породи піддаються постійному впливу атмосферних опадів, які вилуговують радіонукліди і забруднюють ними ґрунтові води та гідрографічну мережу, що, зрештою, призводить до наднормативного забруднення радіоактивними речовинами донних відкладень.

Науковці доводять, що сьогодні більшість шахт, відвалів і хвостосховищ знаходяться в неналежному, з точки зору радіаційної безпеки, стані [4, 6–9]. Небезпека представляє розмив цих відвалів і хвостосховищ дощовими та паводковими водами, а також рознесення вітром радіоактивного пилу.

Іншою ланкою уранового виробництва є збагачувальні підприємства та заводи з гідрометалургійної переробки радіоактивних руд, де головний вид відходів – хвости переробки рудної маси, які насичені радіоактивними компонентами. Весь цей матеріал видаляється в намивні хвостосховища, які є невід'ємною частиною гідрометалургійного виробництва урану та торію та головним джерелом місцевого забруднення навколишнього середовища радіонуклідами. Навколо хвостосховища з часом утворюється як наземний, так і підземний ореоли поширення радіонуклідів.

Руди Українського кристалічного щита (УКЩ) бідні: за низького вмісту урану в породах – 99,9% руди йде у відходи. Крім урану, «хвости» містять усі елементи уранового ряду, тобто 85% радіоактивності, що була у руді: довгоживучі продукти розпаду урану (торій-230 і радій-226) під час переробки не видаляються. Оскільки уран не може бути в ході перемелювання руди повністю відокремлений від порожньої породи, 10-15% його відправляється у відвали. Процес зменшення радіаційної активності «хвостів» та відвалів може тривати мільйон років.

Крім радіоактивних елементів, «хвости» містять низку токсичних речовин, які раніше були присутні у руді. Наприклад, миш'як, а також хімікалії, що використовуються при видобутку руди. Якщо руда містить пірит (FeS_2), то в покладах відходів при проникненні опадів і кисню виникають кислоти, що стимулюють вилуговування забруднювачів, погіршується якість ізолюючого шару, що підстилає, і тим самим збільшується вихід токсинів в ґрунтову воду («кислотний гірський дренаж»).

Від уранових хвостосховищ виходить два види небезпеки. Перший – це радіація, але якщо хвостосховища законсервувати, то від них не буде серйозної загрози. Друга небезпека полягає в тому, що якщо на хвостосховищі сходить зсув, то він це хвостосховище «видавлює», а маса, що міститься в ньому, потрапляє в річки, і виникає ризик забруднення води.

Щоб визначити проблеми радіаційної небезпеки уранових відвалів, звернемося до результатів деяких досліджень. Наприклад, наведені дані дослідження небезпеки навколо відвалів трьох уранових шахт Кіровоградської області [10] свідчать, що максимальний ризик смерті очікується поблизу відвалів Смолінської шахти, небагато менший ризик смерті очікується поблизу Інгульської шахти, ще значно менший – поблизу відвалів

Новокостянтинівської шахти. Величина ризику смерті поблизу меж відвалів перебуває на рівні приблизно 10^{-9} /рік. У НРБУ-97 зазначається, що ризик зневажливо малий, якщо ймовірність смерті менша за 10^{-6}/рік або $7 \cdot 10^{-5}$ за все життя.

За результатами проведених вимірювань в дослідженні [11] проведено розрахунки доз опромінення населення повітряним шляхом формування дози. Виконання робіт з моніторингу повітряного середовища в районах уранодобувних підприємств було розпочато у 2008 році на Інгульській шахті, яка складається з двох територіально рознесених шахт: шахти «Інгульська» та шахти «Центральна». Було встановлено, що дози опромінення змінюються для різних вікових груп населення від 20,8 до 22,2 мкЗв для шахти «Центральна» та від 48,2 до 51,8 мкЗв для шахти «Інгульська». Ці ефективні дози опромінення населення не перевищують встановлених квот повітряним шляхом опромінення відповідно до НРБУ-97 і рівних 120 мкЗв/рік.

В дослідженні [12] встановлено, що максимально можливе сумарне індивідуальне дозове навантаження на населення, яке проживає в зоні впливу шахт «Інгульська», становить 0,951 мЗв/рік, а шахти «Смолинська» – 0,722 мЗв/рік. Максимальне ефективне індивідуальне дозове навантаження населення від діючих об'єктів ДП «СхідГЗК» вбирається у 0,12 мЗв/год, що відповідає нормам НРБУ-97. Показано, що покращення екологічної обстановки на майданчиках гірничих підприємств досягається завдяки проведенню планувальних заходів, що передбачають: ізоляцію поверхні відвалів ґрунторослинним шаром, рекультивацію забруднених радіонуклідами у процесі виробничої діяльності локальних ділянок площею 20 тис. $м^2$.

Радонова небезпека. Радон утворюється в результаті природного радіоактивного розпаду урану, тому радон знаходиться у високій концентрації в ґрунті та скельних породах, що містять радіоактивні елементи. Радон може виділятися також з ґрунтів, що містять певні типи промислових відходів, таких як порода гірничо-збагачувальних підприємств і шахт.

На відкритому просторі концентрація радону настільки низька, що зазвичай не викликає занепокоєння. Однак радон накопичується усередині закритих приміщень (таких, як житло, дитячі дошкільні і шкільні заклади тощо). Рівень утримання радону у приміщенні визначається як складом будівельних матеріалів, так і концентрацією радону у ґрунті під будівлею. Ще одне джерело надходження радону в житлові приміщення – вода та природний газ.

Об'ємна активність радону в поверхневих водах дуже низька, зазвичай нижче 1 Бк/л. У ґрунтових водах об'ємна активність змінюється від 1 до 50 Бк/л у підземних водоносних пластах, від 10 до 300 Бк/л у свердловинах, та від 100 до 1000 Бк/л у кристалічних породах.

Через свою низьку реакційну властивість радон сам по собі не становить серйозної загрози здоров'ю. Проте, радіаційна токсичність його дочірніх продуктів розпаду (ДПР) – короткоживучих ізотопів полонію, вісмуту, свинцю – дуже висока. Основну частину дози, обумовлену радоном, людина отримує, перебуваючи в закритому, непровітрюваному приміщенні. У зонах з помірним кліматом концентрація радону в закритому приміщенні приблизно в 8 разів вище, ніж у зовнішньому повітрі. У середнього періоду життя (60–70 років) людини сумарна доза може бути оцінена 300–500 мЗв. Причому з цих доз їх 75–80% обумовлені впливом радону (див. рис 1.3).

В Україні найбільша потенційна небезпека, зумовлена радоном, існує в межах Українського кристалічного щита (УКЩ), а це територія, що тягнеться вздовж середньої течії Дніпра смугою завдовжки понад 1000 км та завширшки близько 250 км. На УКЩ розташовані Житомирська, Вінницька, Кіровоградська та Запорізька області, східні частини Рівненської та Хмельницької області, північно-східні частини Одеської, Київської (правобережжя) та Черкаської областей, північні частини Миколаївської, Дніпропетровської (правобережжя) та Черкаської областей. Тому в будинках на території цих областей часто спостерігається перевищення нормативів щодо радону. Оцінка доз опромінення населення України свідчить про значні варіації радону у приміщеннях будівель [13–16].

На рис. 1.4 наведені середньорічні дози радонового опромінювання по областям України у 2017 р.

НРБУ-97 встановлено нормативи утримання радону та торону у повітрі приміщень як еквівалентна рівноважна об'ємна активність (ЕРОА) [17]. У випадку, коли будівля або споруда вводяться в експлуатацію після закінчення будівництва або реконструкції, допустимий вміст радону у повітрі приміщень для експлуатації з постійним перебуванням людей становить 50 Бк/м³, а для торону – 3 Бк/м³. Для існуючих будівель та споруд для експлуатації з постійним перебуванням людей рівень утримання радону у повітрі існуючих будівель та споруд рівень утримання радону не повинен перевищувати 100 Бк/м³, а торону – 6 Бк/м³.

Допустимі рівні радону у повітрі приміщень в Україні більш жорсткіші, ніж у країнах Європи. Міжнародна Комісія з радіаційного захисту (МКРЗ) пропонує як допустиму для житлових будівель величину об'ємної активності 300 Бк/м³ (ЕРОА = 150 Бк/м³). Аналогічний референтний рівень для середньої річної концентрації радону у повітрі (за винятком, якщо обставини на національному рівні не вимагають іншого) передбачений Директивою 2013/59/Євратом.

В 2019 р. Кабінет Міністрів України затвердив національний план дій щодо радону, який за своєю змістовною частиною повністю відповідає вимогам Основних стандартів безпеки Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) та Євратому. Відповідно до змісту Плану заходів щодо зниження рівня опромінення населення радоном та продуктами його розпаду, мінімізації довгострокових ризиків від поширення радону у житлових та нежитлових будинках, на робочих місцях на 2020–2024 рр. [18], у 2020 р. Міністерством охорони здоров'я, Держатомрегулюванням та Національною академією медичних наук мали б бути розроблені та затверджені Порядок та Методика проведення моніторингу радону в Україні та повідомлення про радіаційні ризики. При цьому відповідальним суб'єктом проведення моніторингу рівнів радону є місцеві державні адміністрації.

Рис. 1.4. Радонове опромінення українців в розрізі областей. Джерело: uatom.org

Крім того, передбачено створення системи контролю за якістю та ефективністю проведення протирадонових заходів на рівні держави, формування бази даних щодо рівнів

радону в повітрі будинків та реєстру сертифікованих експертів з протирадонових заходів, розроблення санітарного регламенту щодо визначення рівнів дій активності радону на робочих місцях [18]. На жаль, поки немає реальних дій щодо виконання цього Плану.

Дослідження радонової безпеки в Україні. За даними ряду наукових публікацій, радон як джерело опромінення може викликати не тільки онкологічні захворювання бронхолегеневої системи, але й бути причиною виникнення лейкемії у дітей. У 2015 р. МКРЗ видала нові рекомендації (Публікація 126) – доповнення до більш ранньої Публікації 115, яка була презентована науковій громадськості декількома роками раніше. Це свідчить про підвищену увагу до проблеми радону [19].

Аналізуючи дані досліджень, МКРЗ дійшла висновку, що ризик від радону для бронхолегеневої системи людини недооцінений в 1,5 раза, а тому було збільшено відповідні оцінки радіаційних ризиків. В Україні останні 10 років активно проводяться дослідження стану радонового забруднення приміщень, особливо приміщень, для знаходяться діти.

В 2011 році вперше на території України була розпочата регіональна програма по зменшенню доз опромінення населення від радону – програма Кіровоградської обласної державної адміністрації «Стоп радон» [20]. Основні її результати представлені на рис. 1.5: середні значення ЕРОА радону в повітрі обстежених приміщень, та процент зафіксованих перевищень нормативу.

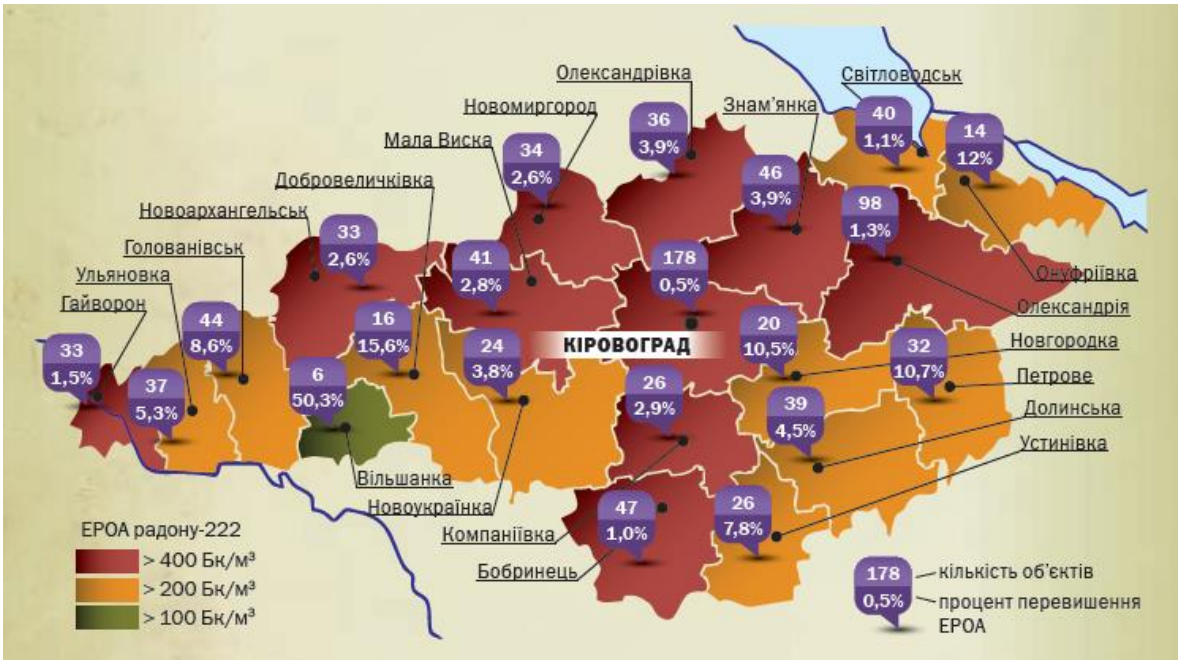

Рис. 1.5. Рівні радону в дитячих дошкільних та шкільних закладах Кіровоградської області (програма «Стоп радон»). Джерело: [20]

Аналіз результатів досліджень рівнів радону показав, що норматив НРБУ-97 перевищував у більше ніж 30% досліджених об'єктів. Зокрема, із 30 обстежених будівель у Маловисківському районі, перевищення нормативу по ЕРОА радону відмічалося у 23 будівлях, причому у 8 будівлях спостерігалося 5-кратне, а у 3 будівлях 10-кратне перевищення нормативу. У Компаніївському та Гайворонському районах зафіксовано показники активності радону у повітрі приміщень навчальних закладів більше 1000 Бк/м^3 та 2300 Бк/м^3 відповідно, які є критичними (у 20–46 разів вище за нормовані граничні показники). За отриманими результатами були оцінені прямі збитки для Кіровоградської області, обумовлені радоном.

У 2017–2018 рр. в рамках обласної програми «Комплексна програма захисту населення Кіровоградської області від впливу іонізуючого випромінювання на 2014–

2018 роки» в освітніх і медичних закладах в м. Кропивницький було проведено два дослідження (табл. 1.1).

Вимірювання середньорічної ЕРОА радону в повітрі приміщень будівель дошкільних, шкільних та лікувальних закладів проводились методом пасивної трекової радонометрії фахівцями Державної установи «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва Національної Академії медичних наук України» (ДУ "ІГЗ НАМНУ").

У 2017 р. виявлено перевищення радіаційно-гігієнічного нормативу щодо ЕРОА радону (50 Бк/м^3) у 66,4% досліджених приміщень, з них рівень 100 Бк/м^3 (норматив для житлових будинків) перевищується у 32,1 % приміщень, рівень понад 200 Бк·м$^{-3}$ – у 9,3% приміщень. У 2018 році «радонова картина» дещо погіршилась: виявлено перевищення радіаційно-гігієнічного нормативу щодо ЕРОА радону (50 Бк/м^3) у 86,2% досліджених приміщень, з них рівень 100 Бк/м^3 (норматив для житлових будинків) перевищується у 53,6% приміщень, рівень понад 200 Бк/м^3 – у 15,2% приміщень.

У 2021 р. в Кіровоградській області за ініціативи РЦПК був реалізований пілотний проект для освітніх закладів м. Кропивницький щодо потенціального створення автоматизованого комплексу вимірювання радону в приміщеннях. Вимірювання об'ємної активності радону здійснювалось інтегральним радіометр радону RADON SCOUT (РГА-1100), дані вимірювання автоматично передавались на сервер з відповідним програмним забезпеченням (рис. 1.6), а місцезнаходження радіометру фіксувалось за допомогою GPS-трекеру. На кожному об'єкті вимірювання проводилось впродовж 5–7 днів.

Таблиця 1.1. Результати досліджень щодо ЕРОА в м. Кропивницький. Джерело: звіти «ДУ «ІГЗ НАМНУ»

2017	**2018**
1. Проведено вимірювання ЕРОА радону-222 у повітрі приміщень дошкільних, шкільних та лікувальних закладів м. Кропивницький Кіровоградської області (всього 42 об'єкти). 2. Встановлено, що по всьому масиву даних діапазон значень ЕРОА радону-222 складає від 12 Бк/м^3 (ЗОШ І-ІІІ ступенів № 29, кабінет № 7) до 340 Бк/м^3 (музична школа № 3, 1 корпус). Середне значення ЕРОА радону-222 складає 91 Бк/м^3. 3. Виявлено перевищення радіаційно-гігієнічного нормативу щодо ЕРОА радону-222 (50 Бк/м^3) у 66,4% досліджених приміщень, з них рівень 100 Бк/м^3 (норматив для житлових будинків) перевищується у 32,1% приміщень, рівень понад 200 Бк/м^3 – у 9,3% приміщень.	1. Проведено вимірювання ЕРОА радону-222 у повітрі приміщень навчальних та лікувальних закладів м. Кропивницького (всього 34 об'єкти). 2. Встановлено, що по всьому масиву даних діапазон значень ЕРОА радону-222 складає від 25 Бк/м^3 (позашкільний центр «Школа мистецтв») до 553 Бк/м^3 (музична школа № 3, 1 корпус). Середне значення ЕРОА радону-222 складає 126 Бк/м^3. 3. Виявлено перевищення радіаційно-гігієнічного нормативу щодо ЕРОА радону-222 (50 Бк/м^3) у 86,2% досліджених приміщень, з них рівень 100 Бк/м^3 (норматив для житлових будинків) перевищується у 53,6% приміщень, рівень понад 200 Бк/м^3 – у 15,2% приміщень.

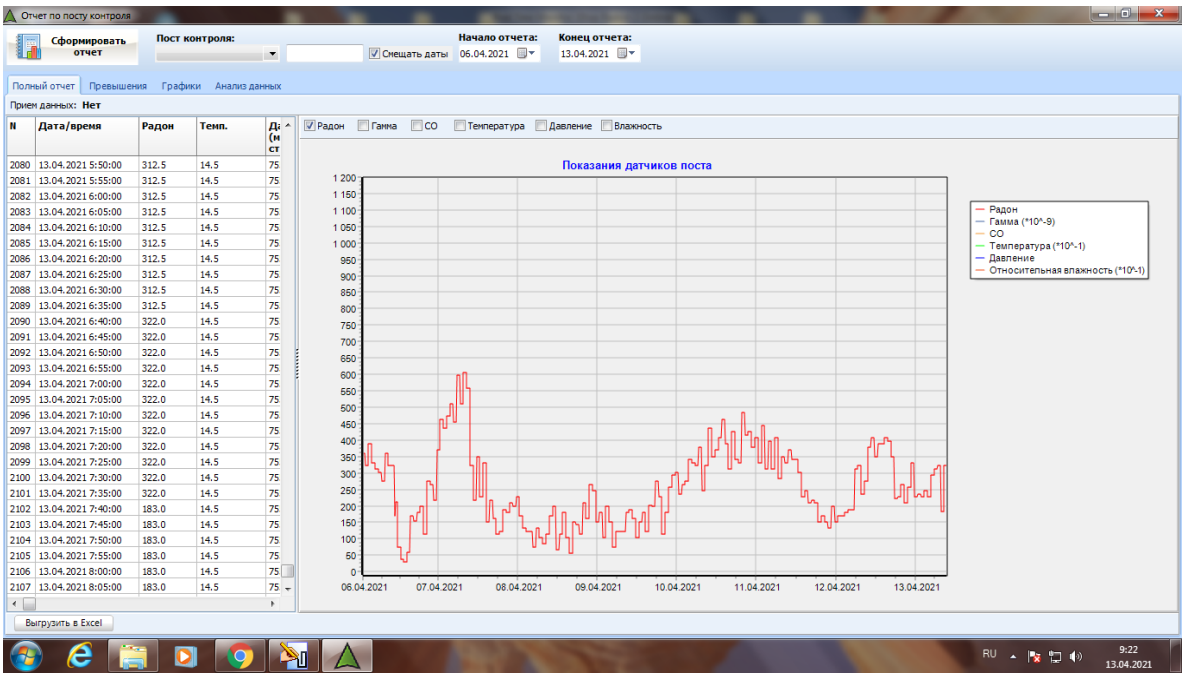

Рис. 1.6. Приклад вимірювання радону і зберігання даних на сервері з подальшим відображення на електронній мапі

За даними цього дослідження у 2021 р. серед 39 закладів шкільної і дошкільної освіти м.Кропивницький виявлено перевищення радіаційно-гігієнічного нормативу щодо ЕРОА радону (50 Бк/м^3) у 46,1% досліджених приміщень, з них рівень 100 Бк/м^3 (норматив для житлових будинків) перевищується у 10,2% приміщень, рівень понад 200 Бк/м^3 – у 12,8% приміщень. При цьому мінімальне середнє значення ЕРОА становило 14 Бк/м^3, а максимальне – 297 Бк/м^3.

В той же час потрібно зазначити, що під час моніторингу рівня радонового забруднення приміщень закладів шкільної і дошкільної освіти спостерігалися значення об'ємної активності радону більше 1800 Бк/м^3.

В дослідженні [19] на території Запорізької області з метою визначення ЕРОА радону у повітрі житлових приміщень та будівель дошкільних навчальних закладів (ДНЗ) розраховано дози опромінення дітей за дії радону та оцінено відповідні радіаційні ризики виникнення негативних ефектів для дитячого населення. Всього обстежено майже 700 житлових будинків і 221 будівля ДНЗ.

Виміри показали, що середньогеометричне значення ЕРОА радону у повітрі житлових приміщень становило 46 Бк/м^3, а в ДНЗ – 185 Бк/м^3, що більше ніж втричі перевищує діючий гігієнічний норматив НРБУ-97. За результатами досліджень середньозважена річна доза опромінювання дітей в житлових приміщеннях була 2,8 мЗв/рік, в ДНЗ – 3,6 мЗв/рік, а середня сумарна річна доза – 6,4 мЗв/рік.

Виходячи з того, що в Запорізькій області проживає 66300 дітей віком від 3 до 6 років, автори дослідження [19] зазначають, що колективна доза опромінення дітей в житлових приміщеннях і будівлях ДНЗ сумарно становила 426,0 люд-Зв, а розрахований радіаційний ризик – 43,7 випадка, тобто майже у 44 осіб за життя є ймовірність виникнення негативних стохастичних ефектів – раку та спадкових захворювань.

Взагалі, питання впливу радону на здоров'я людини є дуже актуальним, і тому проводиться багато різноманітних досліджень.

За даними МОЗ України у 1980-х рр. показник захворюваності населення на злоякісні утворення зріс у 3 рази порівняно з 1950-ми роками. У 2003 р. смертність на 100 тис. населення від захворювань органів дихання становила – 63,3, а від новоутворень – 194,2 випадки. Це високі величини проти, наприклад, для Нідерландів 24,2 випадків на 100 тис. населення. У 1990–2006 рр. у м. Києві, м. Севастополі та Дніпропетровській області високої

поширеності набули всі види новоутворень; злоякісні новоутворення спостерігалися у м. Севастополі, Полтавській, Одеській та Кіровоградській областях [21]. Наприклад, у 2019 р. в Кіровоградській області онкозахворюваність на 32% перевищувала середньоукраїнські показники та майже на 50% у м. Кропивницький. За статистикою, за 2019 рік захворіли 4461 пацієнтів та померли 1953 жителя Кіровоградщини [22].

Висновки. Україна входить в перші «десятки» країн світу за запасами покладів урану і за виробництвом урану та має розвинену атомну енергетичну галузь з 15 ядерними реакторами на 4 АЕС, для яких уран є основним ядерним паливом. Останні декілька років в Україні частка електроенергії, виробленої українськими АЕС, становить 51–58%, що актуалізує питання ядерної і радіаційної безпеки, особливо для областей , які знаходяться на УКЩ.

Норми радіаційної безпеки в України, які було прийнято ще у 1997 р. (НРБУ-97), вже не відповідають сучасним вимогам, що визначаються в Публікаціях МКРЗ. Відсутність реєстрів індивідуального опромінення як працівників уранової галузі та медичних закладів, так і населення не дозволяє мати реальну картину радіаційної безпеки та застосовувати норми законодавства щодо компенсації надлишкових доз опромінення.

В Україні створена державна система обліку та контролю за переміщенням та накопиченням РАВ на основі: Державного реєстру РАВ та Державного кадастру сховищ РАВ та переліку місць їх тимчасового зберігання. Також створена система управління відходами ядерного палива, що забезпечує відповідний рівень ядерної безпеки на АЕС.

Серед питань радіаційної безпеки та екологічного впливу на довкілля для України найбільш критичними є питання рекультивації уранових відвалів шахт та хвостосховищ гідрометалургійних заводів і радонової безпеки населення, зокрема в Дніпропетровській та Кіровоградській областях.

Дослідження радонової обстановки та її вплив на населення України є надзвичайно важливими, що обумовлено додатковим впливом радіаційно-небезпечних чинників на організм людини. Для обмеження опромінення населення України необхідно організувати обов'язкове радіаційно-гігієнічне обстеження земельних ділянок під різноманітні види діяльності, провести детальне обстеження дитячих установ, житлових та громадських будівель у населених пунктах та, насамперед, розташованих у межах виділених зон радононебезпеки; дослідити радіаційні показники основних джерел питного водопостачання; розробити та провести радонозахисні заходи.

З метою встановлення пріоритетів реабілітаційних заходів в Україні необхідно запровадити радіаційно-гігієнічний паспорт регіону як показник радіаційного благополуччя. Першим кроком на шляху вирішення цієї проблеми є створення системи оперативного контролю, аналізу, оцінки та прогнозування радіаційної обстановки у регіонах України.

У 2019 р. Кабінет Міністрів України затвердив національний План заходів щодо зниження рівня опромінення населення радоном та продуктами його розпаду, мінімізації довгострокових ризиків від поширення радону у житлових та нежитлових будинках, на робочих місцях на 2020–2024 рр. Також передбачено створення системи контролю за якістю та ефективністю проведення протирадонових заходів на рівні держави, формування бази даних щодо рівнів радону в повітрі будинків та реєстру сертифікованих експертів з протирадонових заходів, розроблення санітарного регламенту щодо визначення рівнів дій активності радону на робочих місцях. Але крім плану, інших заходів поки не проведено.

Список використаних джерел

1. Частка теплової генерації в загальному виробництві електроенергії з 2016 р. зменшилась на 5% [Електронний ресурс]. *Mpe.kmu.gov.ua*. 2021. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=24553872

2. Буткевич Г. Хочу завести в Украину 1 миллиард долларов [Електронний ресурс]. *Censor.net*. 2019. URL: https://censor.net/ru/r3139752

3. Шаталов М.М. Уран надр України: геохімія урану та історія створення мінерально-сировинної бази. *Вісник НАН України*. 2015. № 10. С. 50–59.

4. Лисиченко, Г.В. Ковач В.Е. Мировой опыт реабилитации бывших урановых производств. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2013. № 6. С. 4–12.

5. Дурасова Н.С., Коваленко Г.Д. Оценка радоноопасности объектов ядерно-топливного цикла на примере хвостохранилищ Приднепровского химического завода. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2015. Т.30. № 3(200). С. 176–181.

6. Романович И.К., Кормановская Т.А., Королева Н.А., Лисаченко Э.П., Сапрыкин К.А. Научное обоснование методических подходов к организации и проведению заключительного радиационного обследования участков территории, реабилитированных после загрязнения природными радионуклидами. *Радиационная гигиена*. 2018. Т.11. № 3. С. 7–21. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-7-21

7. Тен О.Л. Радиоэкологическая характеристика объектов размещения радиоактивных отходов уранового производства и рекомендации по ее улучшению. *Радиационная гигиена*. 2015. Т. 8. № 2. С. 132–134.

8. Волков В. Г., Павленко В. И., Чесноков А. В., Арустамов А. Э., Козырев Д. В., Пикулина И. В. Реабилитация объектов переработки уранового сырья. *Безопасность окружающей среды*. 2008. № 1. С. 60–62.

9. Клочкова Н.В., Салтыков А.С., Авдонин Г.И. Комплексная радиационно-гигиеническая оценка окружающей среды отработанного уранового месторождения Табошар (Таджикистан). *Актуальные проблемы экологии и природопользования: Сб. науч. трудов*. 2014. С. 136–139.

10. Дудар Т.В., Вітько В.І., Коваленко Г.Д. Пилове забруднення та оцінка дозових навантажень від відвалів урановидобування. *Науково-технічний журнал*. 2022. № 1 (21). С. 49–56.

11. Сорока Ю.Н. Основные принципы радиационного мониторинга в районах размещения объектов добычи и переработки урановых руд. *Зб. наукових праць НГУ*. 2012. №39. С. 195–206.

12. Ляшенко В.И., Чекушина Т.В., Лисовой И.А., Лисовая Т.С. Экологическая безопасность в зоне влияния уранового производства. *Экология и промышленность России*. 2019. Т.23. №3. С. 60–65.

13. Комов И.Л., Фролов О.С., Диденко П.И. и др. Основные проблемы радоновой безопасности. Киев: Логос, 2005. 351 с.

14. Pavlenko T., Los I. Exposure doses due to indoor radon-222 in Ukraine and basic directions for the desize. *Radiation measurement*. 1997. V. 28. № 1–6. P. 733–738.

15. Диденко П.И. Влияние радона на население Украины. *Зб. наукових праць «Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист»*. 2013. № 5. С. 60–67.

16. Диденко П.И. Экологические аспекты воздействия радона на население. *Зб. наукових праць «Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист»*. 2014. № 6. С. 72–81.

17. НРБУ-97. (1997) [Електронний ресурс]. *Zakon.rada.gov.ua*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/ show/ v0208282-97#Text

18. Про затвердження плану заходів щодо зниження рівня опромінення населення радоном та продуктами його розпаду, мінімізації довгострокових ризиків від поширення радону в житлових та нежитлових будівлях, на робочих місцях на 2020-2024 роки. Розпорядження КМУ від 27 листопада 2019 р. № 1417-р. [Електронний ресурс] *Zakon.rada.gov.ua.* URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1417-2019-%D1%80#Text

19. Куцак А.В., Севальнєв А.І., Костенецький М.І. Соціально-гігієнічний моніторинг здоров'я дітей в аспекті оцінки радіаційного ризику через радон-222. *Громадське здоров'я та проблеми харчування.* 2018. № 1. С. 32-35.

20. Доповідь про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні у 2012 році. [Електронний ресурс]. *Snriu.gov.ua*. 2012. URL: https://snriu.gov.ua/storage /app/sites/1/docs/shorichna_dopovid _pro_stan_yadernou_ta_radiacijnoi_bezpeky/Annual%20Report%202012%20UKR.pdf

21. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2006 році. 2006. Київ. 549 с.

22. Рак в Україні, 2018–2019. Захворюваність, смертність, показники діяльності онкологічної служби. *Бюлетень національного канцер-реєстру України*. 2020. № –21 [Електронний ресурс]. URL: ncru.inf.ua/publications/BULL_21/index.htm

References

1. Chastka teplovoi heneratsii v zahalnomu vyrobnytstvi elektroenerhii z 2016 roku zmenshylas na 5% [The share of thermal generation in total electricity production has decreased by 5% since 2016]. (2021). *Mpe.kmu.gov.ua.* Retrieved from http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/ publish/article?art_id=24553872 [in Ukrainian].

2. Butkevych H. (2019). Khochu zavesty v Ukraynu 1 myllyard dollarov [I want to bring 1 billion dollars to Ukraine]. *Censor.net.* Retrieved from https://censor.net/ru/r3139752 [in Russian].

3. Shatalov, M.M. (2015). Uran nadr Ukrainy: heokhimiia uranu ta istoriia stvorennia mineralno-syrovynnoi bazy [Uranium of the Ukrainian subsurface: geochemistry of uranium and the history of the creation of the mineral and raw material base]. *Visnyk NAN Ukrainy – Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 10 [in Ukrainian].

4. Lisichenko, G.V. Kovach, V.E. (2013). Mirovoy opyit reabilitatsii byivshih uranovyih proizvodstv [World experience in the rehabilitation of former uranium production]. *Tehnogenno-ekologichna bezpeka ta tsivilniy zahist – Technological and environmental safety and civil protection*. 6. 4–12 [in Russian].

5. Durasova, N.S., Kovalenko, G.D. (2015). Otsenka radonoopasnosti ob'ektov yaderno-toplivnogo tsikla na primere hvostohranilisch Pridneprovskogo himicheskogo zavoda [Assessment of the radon hazard of nuclear fuel cycle facilities on the example of the tailings of the Prydniprovsky chemical plant]. *Nauchnyie vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennyie nauki* – cientific bulletins of the Belgorod State University. Series: Natural sciences 30, 3(200), 176–181 [in Russian].

6. Romanovich, I.K., Kormanovskaya, T.A., Koroleva, N.A., Lisachenko, E.P., Sapryikin, K.A. (2018). Nauchnoe obosnovanie metodicheskih podhodov k organizatsii i provedeniyu zaklyuchitelnogo radiatsionnogo obsledovaniya uchastkov territorii, reabilitirovannyih posle zagryazneniya prirodnyimi radionuklidami [Scientific substantiation of methodological approaches to the organization and conduct of the final radiation survey of areas of the territory rehabilitated after contamination with natural radionuclides]. *Radiatsionnaya gigiena – Radiation hygiene,* 11(3), 7–21. DOI: 10.21514/1998-426H-2018-11-3-7-21 [in Russian].

7. Ten, O.L. (2015). Radioekologicheskaya harakteristika ob'ektov razmescheniya radioaktivnyih othodov uranovogo proizvodstva i rekomendatsii po ee uluchsheniyu [Radioecological characteristics of radioactive waste disposal facilities of uranium production and recommendations for its improvement]. *Radiatsionnaya gigiena – Radiation hygiene,* 8 (2), 132–134 [in Russian].

8. Volkov, V.G., Pavlenko, V.I., Chesnokov, A.V., Arustamov, A.E., Kozyirev, D.V., Pikulina, I.V. (2008). Reabilitatsiya ob'ektov pererabotki uranovogo syirya [Rehabilitation of uranium processing facilities]. *Bezopasnost okruzhayuschey sredyi – Environmental safety,* 1, 60–62 [in Russian].

9. Klochkova, N.V., Saltyikov, A.S., Avdonin, G.I. (2014). Kompleksnaya radiatsionno-gigienicheskaya otsenka okruzhayuschey sredyi otrabotannogo uranovogo mestorozhdeniya Taboshar (Tadzhikistan) [Comprehensive radiation-hygienic assessment of the environment of the spent uranium deposit Taboshar (Tajikistan)]. *Aktualnyie problemyi ekologii i prirodopolzovaniya – Actual problems of ecology and nature management,* 136–139 [in Russian].

10. Dudar, T.V., Vitko, V.I., Kovalenko G.D. (2022). Pilove zabrudnennya ta otsinka dozovih navantazhen vid vidvaliv uranovidobuvannya [Dust pollution and assessment of dose loads from uranium mining dumps]. *Naukovo-tehnIchniy zhurnal – Scientific and technical magazine*, 1(21), 49–56 [in Ukrainian].

11. Soroka, Yu.N. (2012). Osnovnyie printsipyi radiatsionnogo monitoringa v rayonah razmescheniya ob'ektov dobyichi i pererabotki uranovyih rud [Basic principles of radiation monitoring in areas where uranium ore mining and processing facilities are located]. *Zb. naukovih prats NGU – Coll. scientific works of NSU*, 39, 195–206 [in Russian].

12. Lyashenko, V.I., Chekushina, T.V., Lisovoy, I.A., Lisovaya, T.S. (2019). Ekologicheskaya bezopasnost v zone vliyaniya uranovogo proizvodstva [Ecological safety in the area of influence of uranium production]. *Ekologiya i promyishlennost Rossii – Ecology and industry of Russia*, 23(3), 60–65 [in Russian].

13. Komov, I.L., Frolov, O.S., Didenko, P.I. i dr. (2005). Osnovnyie problemyi radonovoy bezopasnosti [The main problems of radon safety]. Kiev: Logos. 351 [in Russian].

14. Pavlenko, T., Los, I. (1997). Exposure doses due to indoor radon-222 in Ukraine and basic directions for the desize. *Radiation measurement*, 28. 1–6. 733–738 [in Russian].

15. Didenko, P.I. (2013). Vliyanie radona na naselenie Ukrainyi [The impact of radon on the population of Ukraine]. *Zb. naukovih prats "Tehnogenno-ekologichna bezpeka ta tsivilniy zahist"* - *Coll. of scientific works "Technological and ecological safety and civil protection"*, 5, 60–67 [in Russian].

16. Didenko, P.I. (2014). Ekologicheskie aspektyi vozdeystviya radona na naselenie [Environmental aspects of the impact of radon on the population]. *Zb. naukovih prats "Tehnogenno-ekologichna bezpeka ta tsivilniy zahist" – Coll. of scientific works "Technological and ecological safety and civil protection"*, 6, 72–81 [in Russian].

17. NRBU-97. (1997). Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0208282-97#Text [in Ukrainian].

18. Pro zatverdzhennya planu zahodiv schodo znizhennya rivnya opromInennya naselennya radonom ta produktami yogo rozpadu, minimizatsiyi dovgostrokovih rizikIv vid poshirennya radonu v zhitlovih ta nezhitlovih budIvlyah, na robochih mistsyah na 2020–2024 roki [On the approval of the plan of measures to reduce the level of exposure of the population to radon and its decay products, to minimize long-term risks from the spread of radon in residential and non-residential buildings, at workplaces for 2020–2024]. Rozporyadzhennya KMU vid 27.11.2019 #1417-r. *Zakon.rada.gov.ua.* Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws /show/1417-2019-r#Text [in Ukrainian].

19. Kutsak, A.V., Sevalnev, A.I., Kostenetskiy, M.I. (2018). Sotsialno-gigienichniy monitoring zdorov'ya ditey v aspekti otsinki radiatsiynogo riziku cherez radon-222 [Socio-hygienic monitoring of children's health in terms of radiation risk assessment due to radon-222.]. *Gromadske zdorov'ya ta problemi harchuvannya – Public health and nutrition issues*, 1, 32–35 [in Ukrainian].

20. Dopovid pro stan yadernoyi ta radiatsiynoyi bezpeki v Ukrayini u 2012 rotsi [Report on the state of nuclear and radiation safety in Ukraine in 2012]. (2012). Retrieved from https://snriu.gov.ua/storage/app/sites/1/docs/shorichna_dopovid_pro_stan_yadernou_ta_ radiacijnoi_bezpeky/Annual%20Report2012UKR.pdf [in Ukrainian].

21. Natsionalna dopovid pro stan navkolishnogo prirodnogo seredovischa v Ukrayini u 2006 rotsi [National report on the state of the natural environment in Ukraine in 2006]. (2006). Kyiv. 549 [in Ukrainian].

22. Rak v Ukrayini, 2018–2019. Zahvoryuvanist, smertnist, pokazniki diyalnosti onkologichnoyi sluzhbi. Byuleten natsionalnogo kantser-reestru Ukrayini [Cancer in Ukraine, 2018–2019. Morbidity, mortality, performance indicators of the oncology service. *Bulletin of the National Chancery Register of Ukraine*. (2020), 21. *Ncru.inf.ua* Retrieved from ncru.inf.ua/publications/ BULL_21/index.htm [in Ukrainian].