

УДК 614.8.086.52;613.648.4;628.4.047;546.296;614.876

АНАЛІЗ ВМІСТУ ПРИРОДНИХ РАДІОНУКЛІДІВ У ВІДХОДАХ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ ЗАЛІЗОРУДНОЇ ГАЛУЗІ

*Павленко Т.О., Тарасюк О.Є., Аксьонов М.В., Фризюк М.А., Ковтонюк Н.Л.
ДУ "Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва НАМН України", м. Київ*

Вступ. Проблема радіоактивних відходів та залишків виробничої діяльності підприємств у світі стоїть дуже гостро і потребує великої уваги. Виробничій діяльності, залишки якої містять підвищений вміст природних радіонуклідів (ПРН) – NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials, радіоактивний матеріал природного походження), присвячено ряд публікацій Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) [1,2]. Розробка продуманої системи узгоджених в міжнародному плані норм і стандартів безпеки проводиться МАГАТЕ з урахуванням рекомендацій Міжнародної комісії з радіологічного захисту (МКРЗ). Доповідь МАГАТЕ (Safety Reports Series ; no. 49), що є чинною та повною на сьогодні, визначає 12 галузей промисловості (виробничої діяльності), що найбільш ймовірно потребують окремих форм регулюючого контролю над природними джерелами опромінення. Серед них – отримання олова, міді, алюмінію, цинку, свинцю, заліза та сталі [3]. Окремо видана публікація, що стосується радіаційного впливу значних масивів мінеральних залишків, які утворюються в результаті роботи гірничо-видобувної промисловості [4].

В звітах-додатках Наукового Комітету з дії атомної радіації (НКДАР) ООН наведено підсумкові оцінки щодо різних аспектів дії іонізуючого випромінювання, в тому числі техногенно-підсилених джерел природного походження (ТПДПП) [5]. У звітах підкреслюється, що ряд неуранових виробництв також може призводити до опромінення осіб з числа населення та персоналу ПРН, що містяться в продукції, побічних продуктах або відходах таких виробництв.

Тому дослідження підприємств з видобутку та переробки корисних копалин (в тому числі залізної руди), відходи яких можуть містити підвищені активності ПРН, є актуальним завданням радіаційної безпеки та протирадіаційного захисту в країні. Такі до-

слідження послугують створенню та розробці вимог щодо ефективного контролю та зниження доз від природних джерел випромінювання при добуванні, збагачуванні та переробці руд, як це рекомендовано МКРЗ, МАГАТЕ, Євратом, що є необхідною вимогою в рамках імплементації європейського законодавства в умовах України.

Метою роботи було проведення досліджень вмісту природних радіонуклідів у відходах виробничої діяльності підприємств залізорудної галузі.

Огляд проблеми. Найбільші в світі запаси заліза та рідкоземельних металів розташовані в Китаї, в гірничорудному районі Баян-Обо. Руди багаті радіоактивними елементами, з концентрацією 0,01-0,05% ThO₂ та 0,0005-0,002% – U₃O₈ [6]. Утворений в процесі добування металів шлак в основному складається з хвостосховищ рудорозбору та залістистого шлаку плавки заліза. Хвостосховища містять підвищений вміст ²³²Th (близько 1,6 Бк·г⁻¹) та є основним джерелом забруднення довкілля. Активність ²³²Th в залістистому шлаку знаходиться в межах 0,5-1,6 Бк·г⁻¹, що дещо перевищує визначений рівень звільнення 1 Бк·г⁻¹. Загальна кількість домішок шлаку у відвалах становить 963 000 т. Додаткова ефективна доза зовнішнього опромінення працюючих на заводах знаходиться в межах 0,29-0,41 мЗв у рік, у той час як для працюючих на розробках родовищ – 0,24-1,0 мЗв у рік. Якщо приймати до уваги вдихання аерозолів чи пилу, що містить торій, імовірно, що додаткова ефективна доза для багатьох працівників буде перевищувати 1,0 мЗв у рік. Радіаційний фон навколо заводів такий же, як і фонові значення, тому додаткове опромінення населення незначне. За даними [6] при виробництві сталі особи з населення, які мешкають навколо заводів, отримують 0,01 мЗв у рік ефективної дози (за виключенням дози від інгаляційного надходження радону).

Оцінка ситуації, пов'язаної з місцями розташування залишків NORM, виконана в країнах Євросоюзу [7]. Серед інших ідентифікованих категорій також описано видобуток руд та виготовлення металів. Хоча дози на населення зазвичай низькі, порядку кількох мікрозівертів або менше, критичні групи можуть отримати дози, що перевищують 1 мЗв. НКДАР ООН закликає та підтримує подальший розвиток інструментів та методології оцінки доз для того, щоб отримати всебічну та вичерпну точку зору на питання в контексті опромінення населення.

Основними вітчизняними нормативними документами (Нормами радіаційної безпеки (НРБУ-97) та Основними санітарними правилами забезпечення радіаційної безпеки України (ОСПУ-2005)) відходи з підвищеним вмістом ПРН не контролюються [8,9]. Згідно з ОСПУ-2005, для ТПДПП визначені тільки вимоги до дозових обмежень опромінення на робочих місцях: "... якщо дози опромінення робітників перевищують 5 мЗв в рік та не можуть бути зменшені, робітники переводяться до категорії персонал". Інші вимоги до регулюючого контролю на підприємствах України, залишки виробничої діяльності яких мають підвищений вміст ПРН, визначено у документі нижчого рівня [10].

В Україні в лютому 2015 р. затверджено розпорядження КМУ №110-р [11] з імплементації директиви 2013/59/Євратом (Council Directive 2013/59/Euratom) щодо основних норм безпеки для захисту від небезпеки, що постає від іонізуючого випромінювання [12]. Положеннями Директиви регулюються в тому числі питання щодо опромінення людини радіоактивними матеріалами природного походження. В цій директиві встановлено рівні звільнення – значення питомої активності для вилучення чи звільнен-

ня від контролю радіонуклідів природного походження в твердих матеріалах у віковій рівновазі з продуктами їх розпаду: для ПРН серії ^{238}U та ^{232}Th – $1 \text{ кБк}\cdot\text{кг}^{-1}$, для ^{40}K – $10 \text{ кБк}\cdot\text{кг}^{-1}$. У разі перевищення цих рівнів звільнення на підприємство повинна поширюватись дія регулюючого контролю у формі реєстрації або ліцензування [12].

Матеріали та методи дослідження.

Відбір проб відходів виробничої діяльності здійснювався представниками підприємств. Разом з пробами надавались супровідні документи (акти), в яких вказувались дата відбору, назва проби та місце її відбору, назва підприємства, його адреса та інші.

Для визначення питомої активності ПРН у залишках застосовувався метод гамма-спектрометрії. Використовувалась гамма-спектрометрична система з високою роздільною здатністю (діапазон енергій становить від 0,12 MeV до 2,0 MeV), що складається із багатоканального аналізатора VARRO (SILENA, Італія) з напівпровідниковим детектором PRGC 3020, розміщеним у свинцевому захисті.

Для вимірювань кожна проба розміщувалась у контейнері типу Марінеллі об'ємом 1 дм^3 , герметизувалась та витримувалась упродовж 14 діб для забезпечення рівноваги між продуктами розпаду ^{226}Ra та ^{222}Rn , а потім зважувалась. Контейнер встановлювався на детектор гамма-спектрометра. Накопичення спектра гамма-випромінювань відбувалось за тривалий інтервал часу, достатній, щоб статистичні показники (інтенсивність, похибка підрахунку відліків) відповідали прийнятній похибці вимірювання (30%).

Розрахунок питомої активності ПРН у досліджуваній пробі здійснювався за формулою:

$$A = \frac{N_{zp} - N_{\phi}}{\eta \cdot \varepsilon \cdot m_{zp} \cdot t}, \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1},$$

де, N_{zp} – кількість відліків за час вимірювання зразка, імп.;

N_{ϕ} – кількість відліків за час вимірювання фону, імп.;

η – квантовий вихід для певної лінії певного радіонукліду;
квант·розпад $^{-1}$;

ε – ефективність піка повного поглинання певного радіонукліду;
імп·с $^{-1}$ ·Бк $^{-1}$;

m_{zp} – маса зразка, кг; t – "живий" час вимірювання, с.

Результати та обговорення. В рамках дослідження було проведено вимірювання вмісту ПРН у 43 пробах відходів виробничої діяльності двох підприємств з видобування залізної руди.

Досліджувались відходи розробки родовища багатой залізної руди з двох шахт підприємства №1 (14 проб). Також досліджувались відходи, які утворилися при про-

хідці гірничих виробок, чотирьох шахт підприємства №2 (29 проб).

У пробах визначались питомі активності ПРН. Були виявлені радіонукліди ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{235}U .

Відсотковий внесок за величиною вмісту кожного радіонукліду у відходах розробки родовища багатой залізної руди підприємства №1 (з обох шахт) представлено на рисунку 1.

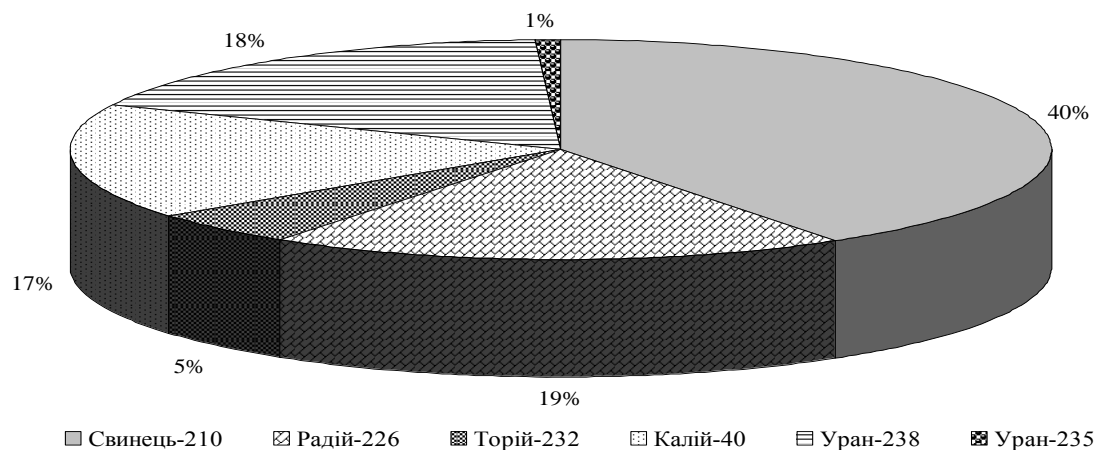


Рисунок 1. Структура вмісту ПРН у відходах підприємства №1.

Як видно з рисунка 1, найбільша частка за питомою активністю серед усіх виявлених ПРН припадає на ^{210}Pb (40%). Максимальне значення питомої активності ^{210}Pb становить $96 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ (шахта №1). Внески за вмістом ^{226}Ra , ^{40}K та ^{238}U майже однакові. Максимальні значення питомої активності цих ПРН відповідно становлять $14 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ (шахти №1, №2), $21 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ (шахта №1) та

$19 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ (шахта №2). Максимальне значення питомої активності ^{232}Th становить $5 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ (шахта №2), ^{235}U – $1 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ (шахта №2).

При цьому у відходах з шахт №1 та №2 значення питомої активності по кожному ПРН дещо відрізняються. Порівняння рівнів питомої активності ПРН у відходах шахт №1 та №2 надано на рисунку 2.

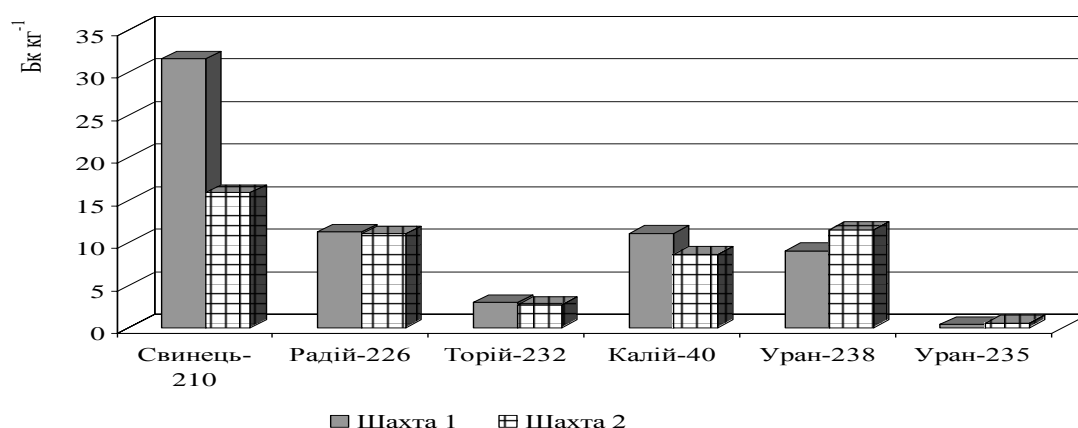


Рисунок 2. Усереднені значення питомої активності ПРН у відходах з шахт №1 та №2 підприємства №1.

Як видно з рисунка 2, рівень вмісту ^{210}Pb у відходах шахти №1 у 2 рази більший, ніж у відходах шахти №2. Відходи з обох шахт практично не відрізняються за рівнями питомої активності ^{226}Ra , ^{232}Th та ^{235}U . Дещо більший вміст ^{40}K притаманний відходам

шахти №1, більший вміст ^{238}U – відходам шахти №2.

На рисунку 3 показано відсотковий внесок за вмістом кожного радіонукліду у відходах, які утворилися при проходці гірничих виробок, підприємства №2 (з чотирьох шахт).

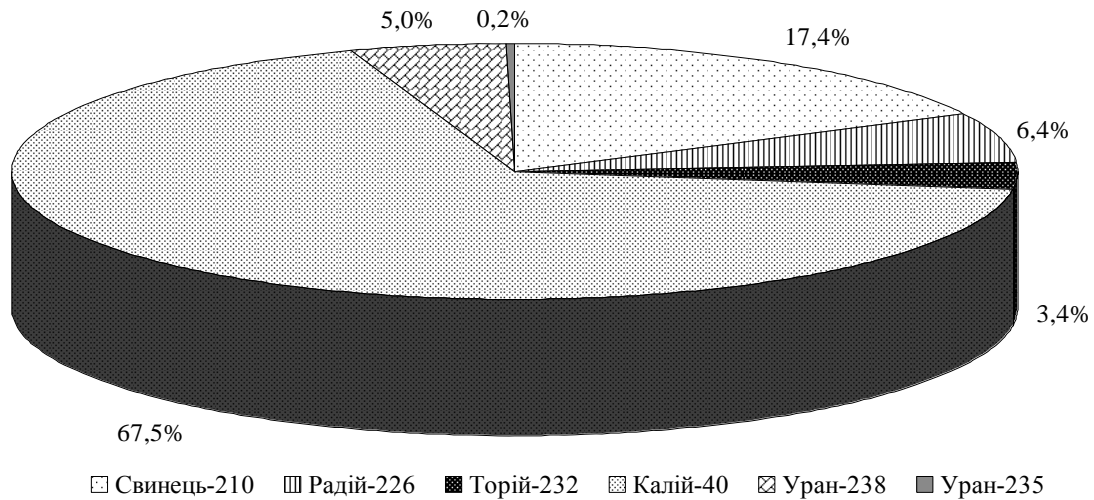


Рисунок 3. Структура вмісту ПРН у відходах підприємства №2.

Як видно з рисунка 3, найбільша частка за питомою активністю серед усіх виявлених ПРН припадає на ^{40}K (68%), максимальний вміст становить $499 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ (шахта №4).

На другому місці – ^{210}Pb (17%), максимальне значення питомої активності становить $108 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ (шахта №4). Внесок решти ПРН за питомою активністю становить від 0,2% (^{235}U) до 6,4% (^{226}Ra). Максимальні

значення питомої активності становлять для ^{226}Ra $45 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ (шахта №3), ^{232}Th – $26 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ (шахта №6), ^{238}U – $43 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ (шахта №4) та ^{235}U – $1,5 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ (шахта №6).

Значення питомої активності по кожному ПРН у відходах з шахт №3, №4, №5 та №6 також дещо відрізняються. Порівняння рівнів питомої активності ПРН у відходах з усіх шахт підприємства №2 надано на рисунку 4.

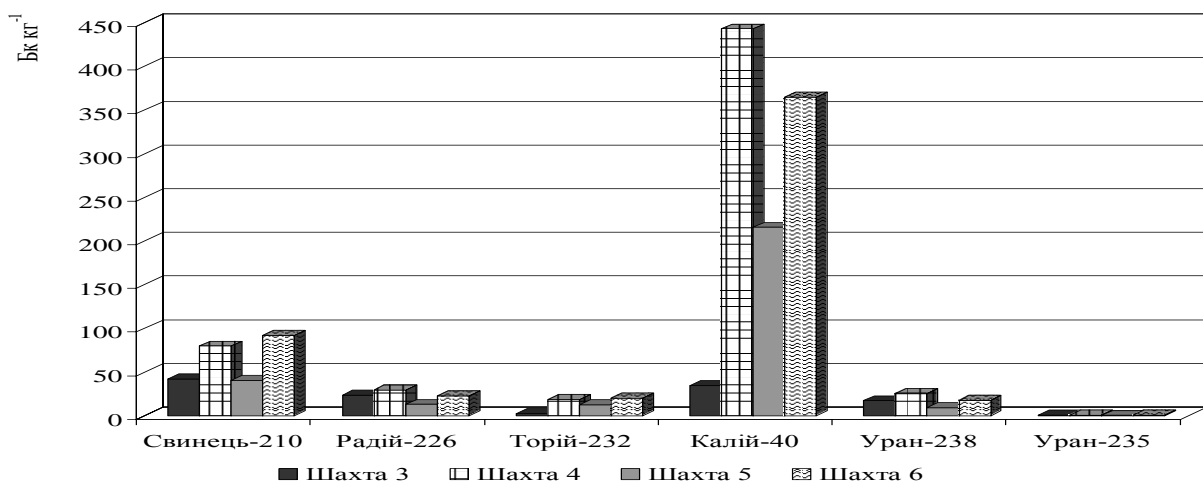


Рисунок 4. Усереднені значення питомої активності ПРН у відходах з шахт №3 – №6 підприємства №2.

Як видно з рисунка 4, найбільша різниця щодо рівня питомої активності у відходах з різних шахт спостерігається для ^{40}K : вміст цього радіонукліду у відходах шахти №3 менший, ніж у відходах шахти №4, у 13 разів, шахти №5 – у 6 разів, шахти №6 – в 11 разів. Для інших виявлених ПРН різниця

між рівнями питомої активності у відходах з різних шахт становить 2-3 рази, крім ^{232}Th , для якого різниця становить до 10 разів.

На рисунку 5 представлено для порівняння величини середнього вмісту (у логарифмічному масштабі) усіх виявлених ПРН у пробах відходів з підприємств №1 та №2.

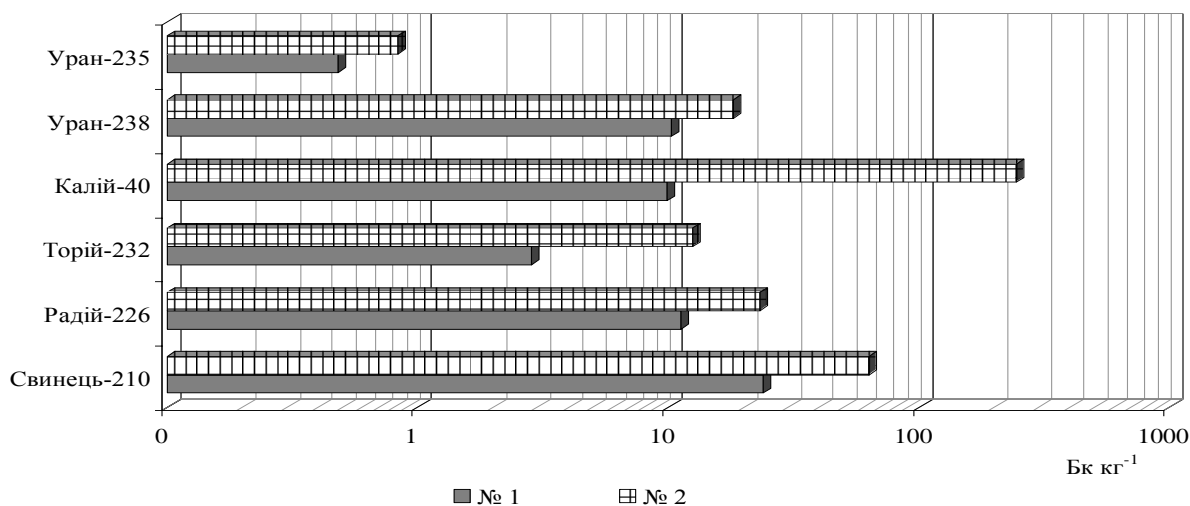


Рисунок 5. Усереднені значення питомої активності ПРН у відходах підприємств №1 та №2 з видобування залізної руди.

Як видно з рисунка 5, середній вміст по всіх ПРН у пробах відходів з підприємства №1 менший, ніж у відходах з підприємства №2.

Встановлено, що у відходах з підприємства №1 усереднені значення питомої активності радіонуклідів ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{235}U менші, ніж у залишках з підприємства №2, від 2 до 6 разів, а вміст ^{40}K – менший майже в 25 разів.

Згідно з вимогами директиви Євроатому [9] щодо рівнів звільнення від контролю матеріалів, які виникають в результаті здійснення певних видів практик, рівень звільнення для ПРН рядів розпаду ^{238}U та ^{232}Th становить 1 кБк·кг⁻¹, ^{40}K – 10 кБк·кг⁻¹.

По підприємству №1 максимальне значення питомої активності ПРН у відходах

для ряду розпаду ^{238}U зафіксовано по ^{210}Pb – 96 Бк·кг⁻¹, що у 10 разів менше за рівень звільнення. По ^{40}K максимальне значення питомої активності склало 21 Бк·кг⁻¹, що менше за рівень звільнення у 500 разів.

По підприємству №2 максимальне значення питомої активності ПРН у відходах зафіксовано по ^{40}K 499 Бк·кг⁻¹, що у 20 разів менше за рівень звільнення. Для ПРН рядів розпаду ^{238}U максимальне значення питомої активності також виявлено по ^{210}Pb – 108 Бк·кг⁻¹, що менше за рівень звільнення у 10 разів.

Таким чином, з аналізу результатів досліджень встановлено, що, згідно з вимогами Євроатому, відходи з обох підприємств можуть бути звільнені від регулюючого контролю за радіаційним фактором.

Висновки

1. Проведено вимірювання вмісту природних радіонуклідів ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{235}U у відходах розробки родовища багаті залізної руди з підприємства №1 (14 проб) та у відходах, які утворилися при прохідці гірничих виробок, з підприємства №2 (29 проб).
2. Встановлено, що максимальні значення питомої активності ПРН ряду розпаду ^{238}U у відходах з підприємств №1 та №2 менші за рівень звільнення від регулюючого контролю у 10 разів.

3. Максимальні значення питомої активності ^{40}K у відходах з підприємства №1 менше за рівень звільнення у 500 разів, а у відходах з підприємства №2 – менше за рівень звільнення у 20 разів.
4. Встановлено, що відходи виробничої діяльності підприємств №1 та №2 з видобування залізної руди можуть бути звільнені від регулюючого контролю за радіаційним фактором.

ЛІТЕРАТУРА

1. ICRP Publication 103 : Recommendations of the ICRP // Ann. ICRP. 2008. – Vol.37. – №2-4. – 313 p.
2. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. – Vienna : IAEA, 2014. – 436 p. – (General Safety Requirements ; no. GSR Part 3).
3. Assessing the Need for Radiation Protection Measures in Work Involving Minerals and Raw Materials / IAEA. – Vienna : IAEA, 2007. – 54 p. – (Safety Reports Series ; no. 49).
4. Exposure of the Public from Large Deposits of Mineral Residues / IAEA. – Vienna : IAEA, 2011. – 49 p. – (IAEA-TECDOC-1660).
5. Sources and Effects of Ionizing Radiation : UNSCEAR 2008 report to the General Assembly / United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. – New York : United Nations, 2010. – V.1. – P. 237-242, 281-290.
6. The use and management of NORM residues in processing Bayan Obo ores in China / Wu Qifan, Liu Hua, Ma Chenghui et al. // Naturally occurring radioactive material (NORM VI) : proceedings of the sixth International Symposium on naturally occurring radioactive material (Marrakesh, Morocco, 22-26 March 2010). – Vienna : IAEA, 2011. – P. 65-78.
7. Vandenhove H. European Sites Contaminated by Residues from the Ore Extracting and Processing Industries / H. Vandenhove // Restoration of Environments with Radioactive Residues : Proceedings of an International Conference (Arlington, Virginia, 23 November – 3 December 1999). – Vienna : IAEA, 2000. – P. 61-89. – (Proceedings Series ; no. STI/PUB/1092).
8. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) : Державні гігієнічні нормативи : ДГН 6.6.1.-6.5.001-98. – Київ, 1998. – 135 с.
9. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України : Державні санітарні правила : 6.177-2005-09-02. – К., 2005. – 62 с.
10. Контроль радіаційної обстановки на залізорудних шахтах України : настанова СОУ-Н МПП 17.240-046:2005 / Мінпромполітики України. – К., 2005. – 14 с.
11. Про схвалення розроблених Державною інспекцією ядерного регулювання планів імплементації деяких актів законодавства ЄС : розпорядження Кабінету міністрів України від 18.02.2015 р. N 110-р [Електронний ресурс] / сторінка "Законодавство України" сайту Верховної Ради. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/110-2015-%D1%80>. – Назва з екрану.
12. Basic Safety Standards (2013). Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom // Official Journal of the European Union. 2014. – Vol.57, – L13. – 73 p.

АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ОТХОДАХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ ОТРАСЛИ

Павленко Т.А., Тарасюк О.Е., Аксенов Н.В., Фризюк М.А., Ковтонюк Н.Л.

Статья посвящена исследованиям содержания естественных радионуклидов (ЕРН) в отходах производственной деятельности предприятий железорудной отрасли Украины.

Были проведены измерения содержания ЕРН в 43 образцах отходов с 2 предприятий (6 шахт). Измерения проводились гамма-спектрометрическим методом. Определялась удельная активность ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{235}U .

Установлено, что для обоих предприятий максимальное содержание ЕРН ряда распада ^{238}U в отходах меньше уровня освобождения от регулирующего контроля в 10 раз. Величины максимального содержания ^{40}K в отходах меньше уровня освобождения в 500 раз для предприятия №1 и в 20 раз – для предприятия №2.

Отходы производственной деятельности обоих предприятий по добыче железной руды могут быть освобождены из-под регулирующего контроля по радиационному фактору.

ESTIMATED CONTENT OF NATURAL RADIONUCLIDES IN THE ACTIVITY RESIDUES AT ENTERPRISES OF IRON-MINING INDUSTRY

T.O. Pavlenko, O.Y. Tarasiuk, N.V. Aksenov, M.A. Fryziuk, N.L. Kovtoniuk

The article deals with research of content of naturally occurring radioactive materials (NORM) in the residues of industrial activity of the Ukrainian iron ore enterprises.

Measurements of the NORM content in 43 samples of residues of industrial activity from 2 enterprises (6 mines) were made. The study was made using gamma-ray spectrometry. It was determined activity concentration of ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{235}U .

It was specified that the maximum activity concentration of NORM in the ^{238}U decay chain in residues is less in 10 times than the level for clearance for the both enterprises. The values of the maximum activity concentration of ^{40}K in the residues are less than the level for clearance for enterprise №1 in 500 times and for the enterprise №2 in 20 times.

The activity residues of the both iron-mining enterprises may be cleared without further consideration concerning radiation factor.

УДК 614.777:546.79-073:543.42.062

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ РАДІАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ВОДИ, ДОСЛІДЖЕНОЇ В 2012-2014 рр.

Михайлова Л.Л., Бузинний М.Г., Сахно В.І., Романченко М.О.

ДУ «Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва НАМН України», м. Київ

Актуальність. Вода як основа існування всього живого вимагає постійної і посиленої уваги до контролю якості. Джерелами води для споживання людиною є: централізоване водопостачання, поверхневі води (джерела, криниці), артезіанські свердловини, бутильована питна вода. Вода централізованого водопостачання подається з природних поверхневих водних об'єктів (ріки, озера), водосховищ та підземних міжпластових накопичень води (напірні, безнапірні води). Вода із поверхневих джерел, у тому числі криниць, може містити як природні, так і штучні радіонукліди (для випадків локальних скидів або аварійного забруднення). Ар-

тезіанські води, перебуваючи під тиском вище атмосферного, залягають між водотривкими пластами, які їх захищають від поверхневих забруднень. Однак хімічний склад артезіанських вод залежить від гідрогеологічних умов області їх формування і суттєву роль у цьому випадку відіграє взаємодія з навколишніми породами. Внаслідок цієї взаємодії води підземних джерел можуть містити радіонукліди уранового і торієвого рядів, що у ряді випадків стає причиною невідповідності радіологічних показників чинним нормативам.

Статистичний аналіз масиву результатів вимірювання радіаційних показників