

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ОЦІНКА СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

УДК 614.8.086.5(2)+539.12.047

DOI: 10.31471/2415-3184-2020-1(21)-49-56

Т. В. Дудар¹, В. І. Вітько², Г. Д. Коваленко³¹Національний авіаційний університет²Український науково-дослідний інститут екологічних проблем³Інститут фізики високих енергій та ядерної фізики

ПИЛОВЕ ЗАБРУДНЕННЯ ТА ОЦІНКА ДОЗОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ВІД ВІДВАЛІВ УРАНОВИДОБУВАННЯ

Проаналізовано вплив на довкілля від відходів промислової розробки уранових родовищ альбітитої формації, що являють собою подрібнений мінеральний концентрат, збагачений ураном, торієм та важкими металами. Наведено якісні і кількісні характеристики відвалів. Відвали урановидобування слугують джерелом радіоактивного запилення довкілля, в т.ч. селітебних територій. Уран накопичується у пиловатій фракції, де його вміст складає 0.01-0.06%. З урахуванням геолого-геохімічних характеристик альбітитових родовищ радіоактивні елементи, важкі метали та інші елементи-супутники уранового зруденіння виносяться з відвалів атмосферними водами з подальшою їх міграцією у систему підземних вод, поступовим проникненням у ґрунти і біологічні об'єкти.

Розрахована площа відвалів за космічними знімками супутника Sentinel-2 та даними рельєфу земної поверхні SRTM, що складає понад 260 000 м² і слугує джерелом пилового забруднення приземних шарів атмосфери. Показано, що радіаційний ризик для людини максимальний поблизу границі відвалів. Встановлено, що на сьогодні максимально за рахунок винесення пилу людина може отримати дозу опромінення ~ 11 мкбер/рік.

Визначено, що прижиттєвий радіаційний ризик від викиду пилу з відвалів трьох досліджуваних шахт зневажливо малий. Проте, сам факт пилового забруднення в степових районах видобування урану не може не розглядатися з точки зору екологічної небезпеки для здоров'я людини та довкілля.

Показано, що радіаційний ризик максимальний поблизу границі відвалів. Максимальний радіаційний ризик очікується поблизу відвалів Смолінської шахти, небагато менший – поблизу відвалів Інгульської шахти, ще значно менший – поблизу відвалів Новокостянтинівської шахти. Збільшення площі відвалів призведе до збільшення доз для населення. Тому бажано зі збільшенням площі відвалів застосовувати заходи щодо зменшення викиду пилу.

Ключові слова: техногенно-підсилені джерела природного походження, породні відвали урановидобування, пилове забруднення, дозове навантаження

Постановка проблеми. При розгляді питання екологічної безпеки урановидобувних територій першочергова увага звертається на наявність низькорадіоактивних матеріалів. Такі матеріали називаються радіоактивними матеріалами природного походження – РМПП (*Naturally Occurring Radioactive Materials – NORMs*) або технологічно підсилені РМПП (*Technologically Enhanced TENORMs*) [1]. В Україні використовується термін техногенно-підсилені джерела природного походження (ТПДПП). За визначенням державних гігієнічних нормативів (НРБУ-97), техногенно-підсилені джерела природного походження – це джерела іонізуючого випромінювання природного походження, які в результаті господарської та виробничої діяльності людини були піддані концентруванню або збільшилася їхня доступність, внаслідок чого утворилося додаткове до природного радіаційного фону опромінювання [1, ст. 29]. В [1, 3] наводяться близькі до наведеного визначення *TENORM*, зокрема, у технічному звіті Агенції із захисту навколишнього середовища США: «*naturally occurring radioactive materials that have been concentrated or exposed to the*

accessible environment as a result of human activities such as manufacturing, mineral extraction, or water processing» [3, ст.6]. До таких матеріалів належать відходи видобування твердих корисних копалин, руди яких містять радіоактивні елементи. Вимоги до геологічного вивчення і прогнозування впливу розвідки і розробки корисних копалин на навколишнє середовище враховують необхідність виявлення фонових параметрів стану довкілля [4, 5]. До них належать рівень радіації, якість компонентів довкілля (поверхневих і підземних вод, повітря, ґрунту) в зоні впливу розробки родовища.

Джерела радіаційного впливу на довкілля різноманітні і висвітлені в багатьох публікаціях [6-8]: це аерозольні, пилові, рідкі, тверді низькоактивні відходи (НАВ) видобувного і збагачувального комплексів уранових родовищ та родовищ, які збагачені супутніми радіоактивними елементами. Території, в межах яких відбуваються процеси видобування та перероблення радіоактивної сировини, зазнають радіоактивного забруднення різного ступеню. Радіоактивність, джерелом якої є уранові руди, потребує спеціальних заходів захисту населення і довкілля на додаток до загальноприйнятого контролю, який супроводжує видобування руд інших металів, що також висвітлено в численних вітчизняних та зарубіжних матеріалах [9-13].

Проте нажалі, питання впливу відвалів уранових руд на довкілля залишатиметься актуальним ще довгий час – до тих пір, поки території, де вони складуються, не будуть повністю рекультивовані. Враховуючи вищезазначене, **метою даного дослідження** є аналіз потенційного пилового забруднення та оцінка дозових навантажень від відвалів урановидобування.

Виклад матеріалу дослідження. Відходи промислової розробки уранових родовищ альбітитової формації, які були (і будуть) складовані у відвали на території промислових майданчиків родовищ, що розробляються (рис. 1), являють собою подрібнений мінеральний концентрат, збагачений ураном та важкими металами в умовах гіпергенних процесів (табл. 1) за даними Фоміна Ю.О. та ін. [14].



Рис. 1. Відходи уранового виробництва на території промислового майданчика Інгульської шахти

У вмшуючих породах кількість урану варіює від перших г/т до 40-53 г/т; такий вміст часто вже на порядок і більше перевищує фоновий для порід метатеригенної формації Українського щита (УЩ) [15]. З урахуванням геолого-геохімічних характеристик альбітитових родовищ радіоактивні елементи, важкі метали та інші елементи-супутники уранового зруденіння виносяться з відвалів атмосферними водами з подальшою їх міграцією у систему підземних вод, поступовим проникненням у ґрунти і біологічні об'єкти.

В альбітизованих породах і безрудних альбітитах зовнішніх часток рудних зон вміст урану в середньому по об'єктам зростає в 1,3 – 4,3 рази. Контрастність руд (співвідношення середнього вмісту урану у рудах і вмшуючих породах) змінюється від 77-84 (Мічурінське) до 302-376

(Новокостянтинівське і Северинівське) родовища [14]. Можна передбачити, таким чином, що альбітиту з непромисловим вмістом урану (20-300 г/т) опиняються у відвалах із великою ймовірністю попадання його у пиловату фракцію, яка розноситься вітром в залежності від його швидкості і напрямку. Зокрема, за даними [16] з'ясувалось, що всі відвали Інгульської шахти є слабо рудними, тобто вміст урану майже в усіх пробах перевищує 0.01%. Вміст урану в пиловатій фракції перевищує вміст урану в загальних пробах, причому найбільш радіоактивними виявились проби з підніжжя майже всіх відвалів. Звичайний вміст урану в пиловатій фракції (<0,25 мм) складає 0.01-0.06%.

Таблиця 1

Геохімічна характеристика уранових родовищ альбітитової формації

Хімічні елементи, г/т	Родовища урану альбітитової формації		
	Мічуринське	Ватутинське	Новокостянтинівське
U	5-1670	3-5140	0,4-4470
Th	0,5-4,3	6,0-101,0	5,2-200,0
V	12-54	40-800	21-73
Ni	4,0-12,0	30-1000	8,0-11,0
Cr	6-38	200-3000	18-21
Pb	5-810	18-2995	20-1130
Zn	-	0-200	34-54
Mo	-	0,5-50	0,4-0,9
Sr	36-161	1-300	210-730
Be	1-46	0-30	3,0-4,5
Zr	22-291	18-490	190-433

З точки зору екологічної безпеки території з ТПДПП, наявність відвалів відходів урановидобування та пилове забруднення ділянок приземної атмосфери і земної поверхні є характерною і невід'ємною її рисою. Пилове забруднення на промислових майданчиках і за його межами відбувається головним чином за рахунок вентиляції, що створює ореол розсіювання до 200 м, атмосферного пилу, що виникає внаслідок дроблення вміщуючих порід, транспортних перевезень, а також за рахунок довготривалого існування самих відвалів низько активних відходів. Кількість урану, яка знаходиться в повітрі у вигляді рудного пилу, загалом невідома, як невідома і загальна запиленість повітря. Проте, проаналізувавши фактори, що впливають на вірогідну загрозу запиленості повітря на території санітарно-захисної зони (СЗЗ) будь-якого підприємства та за її межами, можна визначити потенційно небезпечні ситуації для будь-якої території дослідження і спрогнозувати заходи щодо її усунення особливо для селітебних ділянок.

Зрозуміло, у будь-якому випадку має значення характеристика самих відвалів – їх площа, мінеральний та хімічний склад подрібненого породного субстрату (який в принципі відповідає складу порід, що після серії вибухів під землею були подрібнені і вилучені на поверхню), пиловата фракція (< 0,25 мм) та вміст урану в ній, яка розноситься вітром згідно розі вітрів. Також важливо враховувати наявність селітебних територій та відстань до них від СЗЗ гірничо-видобувного підприємства (ГВП), та аналізувати розу вітрів і швидкість вітру досліджуваної території взагалі та на прикладі конкретного сезону (та/або року).

Визначення дози і ризику опромінення населення від надходження радіонуклідів в атмосферу було проведено за програмним комплексом CAP-88, версія 4.0.1.17 (2019), який розрахований на оцінку хронічного опромінення низького рівня. Вхідні метеопараметри для моделювання були запозичені з міжнародної бази даних [17]. Розрахована роза вітрів для м. Кропивницький наведена на рис. 2. Вона використовувалась при побудові вхідного метеофайла для проведення розрахунків по відвалам територій трьох досліджуваних шахт. На цьому рисунку суцільною кривою приведено використовуваний частотний розподіл напрямків швидкостей вітру (роза вітрів для напрямку "куди"), а пунктирною кривою тестовий розподіл потужностей доз для умовного точкового джерела в центрі відвалу. Отриманий збіг за формою рози вітрів з розподілом доз є доказом коректності завдання вхідних метеоданих.

Для розрахунків прийнято середнє значення пиловиносу з породних відвалів, що приблизно дорівнює величині $6,9 \cdot 10^{-5}$ т / (м²·рік) [13].

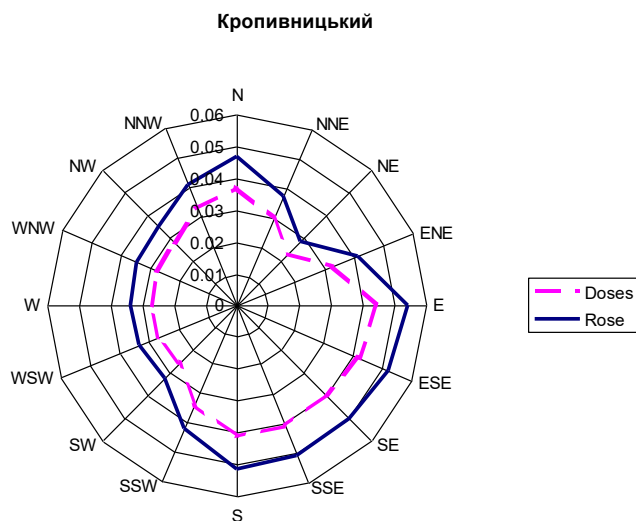


Рис. 2. Розрахована роза вітрів для 16-ти геодезичних румбів

Алгоритм визначення площі відвалів за допомогою даних із супутника Sentinel-2 від 07.02.2019 та точних даних рельєфу земної поверхні SRTM (2000) показано на рис. 3.



Рис. 3. Алгоритм визначення площі відвалів шахт

Розміри породних відвалів шахт та середній вміст ізотопів урану і торію в породах, що містять уранове зруденіння, наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Характеристика породних відвалів урановидобувних шахт

Шахти	Площа		Радіус, м	U в породах, г/т	Th в породах,г/т
	м ²	км ²			
Інгульська (Мічуринське, Центральне)*	265032,45	0,2650	290	10,0	1,4
Смолінська (Ватутінське)*	243721,8	0,2437	278,5	16,0	32,1
Новокостянтинівська (Новокостянтинівське)*	23711,85	0,0237	87	20,8	37,9

*– назви родовищ, які розробляються

При проведенні розрахунків відвали шахт розглядалися як кругові площинні джерела винесення пилу з радіусами, наведеними в табл. 2. Розрахунки проводилися для 20 значень радіуса в кожному з 16 румбів: N, NNW, NW, WNW, W, WSW, SW, SSW, S, SSE, SE, ESE, E, ENE, NE, NNE. За розрахованими значеннями будувалися ізолінії середньорічних доз. Внутрішнє опромінення від продуктів харчування не враховувалося.

На рис. 4 показані в плані майданчики, обмежені квадратом зі стороною 2,2 км, в центрі яких у вигляді кола зображені площі відвалів а) Інгульської, б) Смолінської та в) Новокосянтинівської шахт; приведені ізолінії середньорічних доз за рахунок винесення пилу з породних відвалів шахт. Центральна вертикальна лінія показує напрямок на північ своїм верхнім кінцем. Центральна горизонтальна лінія своїм правим кінцем вказує на схід.

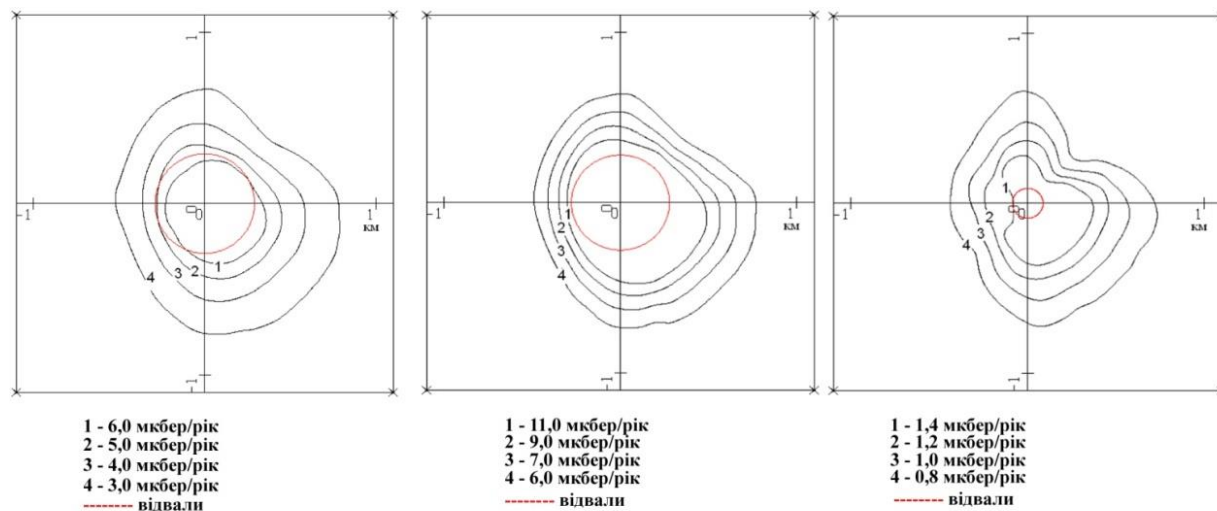


Рис. 4. Ізолінії середньорічних доз за рахунок винесення пилу з відвалів шахт а) Інгульської, б) Смолінської, в) Новокосянтинівської

Для Інгульської шахти побудовано чотири ізолінії середньорічних доз зі значеннями величин 6, 5, 4, 3 мкбер/рік (рис. 4, а). Як випливає з наведених даних на кордоні відвалу за рахунок винесення пилу людина може отримати дозу ~ 6 мкбер/рік. За рахунок рози вітрів ізолінії доз витягнуті в напрямку на південний схід. На відстані 0,8 км від центру відвалу дози знаходяться на рівні ~ 3 мкбер/рік. Для Смолінської шахти побудовано чотири ізолінії середньорічних доз зі значеннями величин 11, 9, 7, 6 мкбер/рік (рис. 4, б). На кордоні відвалу за рахунок винесення пилу людина може отримати дозу ~ 11 мкбер/рік. За рахунок рози вітрів ізолінії доз витягнуті в напрямку на південний схід. На відстані 0,8 км від центру відвалу дози знаходяться на рівні ~ 6 мкбер/рік. Дози від винесення пилу в районі відвалів Смолінської шахти трохи вище, ніж від винесення пилу в районі відвалів Інгульської шахти. Це пояснюється різницею вмісту урану і торію у відвалах шахт, як показано у табл. 2.

Для Новокосянтинівської шахти (рис. 4, в) побудовано чотири ізолінії середньорічних доз зі значеннями величин 1,4, 1,2, 1,0, 0,8 мкбер/рік. Оскільки відвали даної шахти почали складувати набагато пізніше відвалів попередніх двох шахт, то розміри і дози, одержувані від винесення пилу значно менші. Як випливає з наведених даних від винесення пилу з відвалів до приблизно 1 км величини доз приблизно дорівнюватимуть 1 мкбер/рік.

Радіаційний ризик смерті за все життя оцінений у відповідності із [18]. На рис. 5 наведена залежність радіаційного ризику смерті за все життя від відстані по радіусу в напрямку на схід для відвалів трьох шахт. З наведених даних випливає, що максимальний ризик смерті очікується поблизу відвалів Смолінської шахти, небагато менший ризик смерті очікується поблизу Інгульської шахти, ще значно менший – поблизу відвалів Новокосянтинівської шахти. Величина ризику смерті поблизу границі відвалів перебуває на рівні приблизно 10^{-9} рік $^{-1}$. У НРБУ-97 зазначається, що ризик зневажливо малий, якщо ймовірність смерті менша за 10^{-6} рік $^{-1}$ або $7 \cdot 10^{-5}$ за все життя.

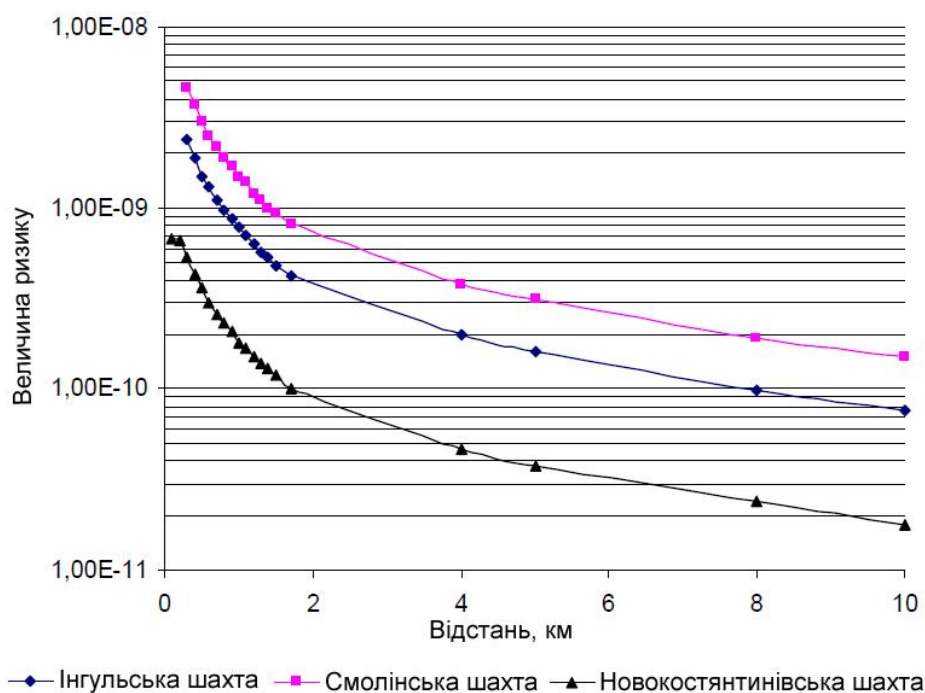


Рис. 5. Ризик смертності за життя

Висновки:

1. Відвали урановидобування слугують джерелом радіоактивного запилення довкілля, в т.ч. селітебних територій. Уран накопичується у пилюватій фракції, де його вміст складає 0.01-0.06%. З урахуванням геолого-геохімічних характеристик альбітітових родовищ радіоактивні елементи, важкі метали та інші елементи-супутники уранового зруденіння виносяться з відвалів атмосферними водами з подальшою їх міграцією у систему підземних вод, поступовим проникненням у ґрунти і біологічні об'єкти.

2. Визначено, що прижиттєвий радіаційний ризик від викиду пилу з відвалів трьох досліджуваних шахт зневажливо малий. Проте, сам факт пилового забруднення в степових районах видобування урану не може не розглядатися з точки зору екологічної небезпеки для здоров'я людини та довкілля.

3. Показано, що радіаційний ризик максимальний поблизу границі відвалів. Збільшення площі відвалів призведе до збільшення доз для населення. Тому бажано зі збільшенням площі відвалів застосовувати заходи щодо зменшення викиду пилу.

Література

1 IAEA (2005) TEC-DOC-1472, Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM IV), Proceedings of an International Conference held in Szczyrk, Poland, May 2004, issued October 2005.

2 Державні гігієнічні нормативи ДГН 6.6.1.-6.5.061-2000. Норми радіаційної безпеки України, доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (НРБУ-97/Д-2000).

3 Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials From Uranium Mining, Volume 1: Mining and Reclamation Background, Volume 2: Investigation of Potential Health, Geographic, and Environmental Issues of Abandoned Uranium Mines. U.S. Environmental Protection Agency. Published on-line as Vol. 2 of EPA 402-R-05-007, August 2007. Mode of Access: https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=ORIA&dirEntryId=139719

4 Закон України «Про оцінку впливу на довкілля». Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 29, ст. 315. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19>.

5 Кодекс України «Про надра». Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1994, № 36, ст.340. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-%D0%B2%D1%80>.

6 Коваленко Г. Д. Радиоекология Украины: Монография. – 3-е изд., перераб. и доп. – Х.: ИД «Инжек», 2013. – 344 с.

7 Dudar T.V. Uranium mining and milling facilities legacy sites: Ukraine case study. *Environmental Problems/ Екологічні проблеми*. Volume 4, Number 4, 2019. P.212-218 DOI: <https://doi.org/10.23939/ep2019.04.212>.

8 Дурасова Н.С., Коваленко Г.Д. Об'єкти ядерно-паливного циклу як джерела радіаційного впливу на умови життя населення та навколишнє природне середовище // *Экология и промышленность*. – 2015. – № 4. – с. 17–20.

9 Верховцев В.Г. та ін. (2014). Перспективи розвитку уранової сировинної бази ядерної енергетики України / В. Г. Верховцев [та ін.]. – Київ : Наук. думка, 2014. – 355 с.

10 Екологічна безпека уранового виробництва: монографія; за ред. Ф.Ф. Топольного / Ляшенко В.І., Топольний Ф.Ф., Мостіпан М.І., Лісова Т.С. – Кіровоград: КОД, 2011. – 236 с.

11 Ляшенко В.И., Коваленко Г.Д. Охрана окружающей природной среды при добыче и переработке урановых руд в Украине // *Экология и промышленность*. 2011, № 4 (29), с. 29 – 35.

12 Ляшенко В.И., Коваленко Г.Д. Радиационная и социальная защита населения в регионах добычи и переработки уранового сырья в Украине // *Экология и промышленность*. – 2013. – № 2 (35). – с. 21 – 28.

13 Коваленко Г.Д., Дурасова Н.С. Оценка радиационной опасности хвостохранилищ Приднепровского химического завода для населения // *Ядерная и радиационная безопасность*. – 2015. – № 3. – с. 49 – 53.

14 Фомін Ю.О., Деміхов Ю.М., Верховцев В.Г., Дудар Т.В., Борисова Н.М., Кравчук З.М. (2020). Елементи-супутники уранового зруденіння альбітитої формації Українського щита та їх вплив на навколишнє середовище // *Екологічна безпека та природокористування*. Збірник наукових праць. – К, 2020. – Том. 33. № 1. – С. 42-58. DOI: 10.32347/2411-4049.2020.1.42-58.

15 Белевцев Я.Н., Егоров Ю.П., Титов В.К. и др. Средние содержания урана и тория в главнейших типах горных пород Украинского щита // *Геол. журн.* – 1975. – 35, вып. 4. – С. 96-117.

16 Техногенне забруднення радіоактивними елементами на родовищах корисних копалин/ В.О. Шумлянський, А.Г.Субботін, А.Х. Бакаржієв та ін. – К.: Знання України, 2003. – 133 с.

17 World Weather. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://world-weather.ru/archive/ukraine/kirovohrad/>

18 Radiation Protection. ICRP Publication 60. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP). – N.Y.: Pergamon Press, 1991. – 197 pp.

T. Dudar¹, V. Vitko², G. Kovalenko³

¹*National Aviation University*

²*Ukrainian Scientific and Research Institute of Ecological Problems*

³*Institute of High-Energy Physics and Nuclear Physics*

DUST POLLUTION AND ASSESSMENT OF RADIATION DOSE FROM URANIUM DUMPS

The authors have analyzed the environmental impact of uranium mining waste dumps from albitite formations that are ground mineral concentrates, enriched with uranium, thorium and heavy metals. The qualitative and quantitative characteristics of dumps are provided. Uranium mining dumps are a source of the radioactive pollution of the environment, including residential areas. Uranium accumulates in the dusty fraction, where its content is 0.01-0.06%. Taking into account the geological and geochemical characteristics of albitite deposits, radioactive elements, heavy metals and other satellite elements of uranium mineralization are removed from dumps by atmospheric waters with their subsequent migration into the groundwater system, gradual penetration into soils and biological objects.

The area of dumps has been calculated based on space images of the Sentinel-2 satellite and SRTM terrestrial surface data. It is more than 260,000 m² and is a source of dust pollution of the surface layers of the atmosphere. It has been shown that the radiation risk for humans is maximum at the boundaries of dumps. It has been established that at present a person can receive an irradiation dose of ~ 11 μSv/year due to dust discharge.

It has been determined that the lifetime radiation risk from dust emissions from the dumps of the three studied mines is negligibly small. However, the very fact of dust pollution in the steppe areas of uranium mining cannot be ignored in terms of environmental hazards to human health and the environment.

It has been shown that the radiation risk is maximum near the boundary of the dumps. The maximum radiation risk is expected near the dumps of the Smolinska mine, a slightly lower one – near the dumps of the Ingulska mine, and much lower – near the dumps of the Novokostiantynivska mine. Increasing the area of dumps will raise the dose to the population. Therefore, together with increasing the area of the dumps it is desirable to take measures to reduce dust emissions.

Key words: technogenically enhanced sources of natural radiation, uranium mining waste dumps, dust pollution, irradiation dose.

References

- 1 IAEA (2005) TEC-DOC-1472, Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM IV), Proceedings of an International Conference held in Szczyrk, Poland, May 2004, issued October 2005.
- 2 Derzhavni hiihienichni normatyvy DHN 6.6.1.-6.5.061-2000. Normy radiatsiinoi bezpeky Ukrainy, dopovnennia: Radiatsiinyi zakhyst vid dzherel potentsiinoho oprominennia (NRBU-97/D-2000).
- 3 Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials from Uranium Mining, Volume 1: Mining and Reclamation Background, Volume 2: Investigation of Potential Health, Geographic, and Environmental Issues of Abandoned Uranium Mines. U.S. Environmental Protection Agency. Published on-line as Vol. 2 of EPA 402-R-05-007, August 2007. Mode of Access: https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=ORIA&dirEntryId=139719
- 4 Zakon Ukrainy «Pro otsinku vplyvu na dovkillia». Vidomosti Verkhovnoi Rady (VVR), 2017, № 29, st. 315. Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19>.
- 5 Kodeks Ukrainy «Pro nadra». Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy (VVR), 1994, № 36, st.340. Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-%D0%B2%D1%80>.
- 6 Kovalenko H. D. Radioekologiiia Ukrainy: Monografiia. – 3-e izd., pererab. i dop. – Kh.: ID «Inzhek», 2013. – 344 s.
- 7 Dudar T.V. Uranium mining and milling facilities legacy sites: Ukraine case study. Environmental Problems. Volume 4, Number 4, 2019. P.212-218 DOI: <https://doi.org/10.23939/ep2019.04.212>.
- 8 Durasova N.S., Kovalenko H.D. Obiekty yaderno-palyvnoho tsykladu yak dzherela radiatsiinoho vplyvu na umovy zhyttia naselennia ta navkolyshnie pryrodne seredovyshche // Ekologiiia i promyshlennost. – 2015. – № 4. – S. 17–20.
- 9 Verkhovtsev V.H. ta in. (2014). Perspektyvy rozvytku uranovoi syrovynnoi bazy yadernoi enerhetyky Ukrainy / V. H. Verkhovtsev [ta in.]. – Kyiv : Nauk. dumka, 2014. – 355 s.
- 10 Ekolohichna bezpeka uranovoho vyrobnytstva: monografiia; za red. F.F. Topolnoho / Liashenko V.I., Topolnyi F.F., Mostipan M.I., Lisova T.S. – Kirovohrad: KOD, 2011. – 236 s.
- 11 Liashenko V.Y., Kovalenko H.D. Okhrana okruzhaiushchei prirodnoi sredy pri dobyche i pererabotke uranovykh rud v Ukraine // Ekologiiia i promyshlennost. – 2011. № 4 (29), s. 29 – 35.
- 12 Liashenko V.Y., Kovalenko H.D. Radiatsionnaia i sotsialnaia zashchita naselennia v regionakh dobychi i pererabotki uranovoho syria v Ukraine // Ekologiiia i promyshlennost. – 2013. – № 2 (35). – s. 21 – 28.
- 13 Kovalenko H.D., Durasova N.S. Otsenka radiatsyonnoi opasnosti khvostokhranilishch Pridneprovskoho khimicheskogo zavoda dlia naselennia // Yadernaia i radiatsyonnaia bezopasnost. – 2015. – № 3. – S. 49 – 53.
- 14 Fomin Yu.O., Demikhov Yu.M., Verkhovtsev V.H., Dudar T.V., Borysova N.M., Kravchuk Z.M. (2020). Elementy–suputnyky uranovoho zrudennia albitytovoi formatsii Ukrainskoho shchytta ta yikh vplyv na navkolyshnie seredovyshche. Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia. Zbirnyk naukovykh prats. Tom.33. № 1. – K. – 2020. – S. 42-58. DOI: 10.32347/2411-4049.2020.1.42-58.
- 15 Belevtsev Ya.N., Ehorov Yu.P., Tytov V.K. y dr.Srednie sodержaniia urana i toriia v glavneishykh tipakh hornykh porod Ukrainskoho shchytta // Heol. zhurn. – 1975. – 35, vyp. 4. – S. 96-117.
- 16 Tekhnohenne zabrudnennia radioaktyvnymi elementamy na rodovyshchakh korysnykh kopalyn/ V.O. Shumlianskyi, A.H.Subbotin, A.Kh. Bakarzhiev ta in. – K.: Znannia Ukrainy, 2003. – 133 s.
- 17 World Weather. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupa: <https://world-weather.ru/archive/ukraine/kirovohrad/>
- 18 Radiation Protection. ICRP Publication 60. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP). – N.Y.: Pergamon Press, 1991. – 197 pp.

Надійшла до редакції 10 червня 2020 р.