

Оцінка радіаційної небезпеки хвостосховищ Придніпровського хімічного заводу для населення

Проаналізовано стан хвостосховищ Придніпровського хімічного заводу. Для кожного населеного пункту, який перебуває під впливом хвостосховищ, виконано розрахункові оцінки індивідуальних і колективних дозових навантажень, які обумовлені виділенням в атмосферне повітря радону, продуктів його розпаду та радіоактивного пилу. Проведено ранжування хвостосховищ відповідно до ступеня небезпеки за внеском у формування колективної дози й ризику.

Ключові слова: переробка уранових руд; радон та продукти його розпаду; радіоактивний пил; індивідуальні та колективні дозові навантаження; хвостосховище.

Г. Д. Коваленко, Н. С. Дурасова

Оценка радиационной опасности хвостохранилищ Приднепровского химического завода для населения

Проанализировано состояние хвостохранилищ Приднепровского химического завода. Для каждого населенного пункта, находящегося под влиянием хвостохранилищ, выполнены расчетные оценки индивидуальных и коллективных доз, которые обусловлены поступлением в атмосферный воздух радона, продуктов его распада и радиоактивной пыли. Проведено ранжирование хвостохранилищ согласно степени опасности по вкладам в формирование коллективной дозы и риску.

Ключевые слова: переработка урановых руд; радон и продукты его распада; радиоактивная пыль; индивидуальные и коллективные дозы, хвостохранилище.

© Г. Д. Коваленко, Н. С. Дурасова, 2015

Переробка уранових руд з отриманням уранового оксидного концентрату розпочалася 1949 року на виробничому об'єднанні «Придніпровський хімічний завод» (ВО «ПХЗ»). За період роботи ВО «ПХЗ» з 1949 до 1991 року було утворено хвостосховища «Південно-Східне», «Центральний Яр», «Західне», «Дніпровське», «Сухачівське» (секції 1 та 2), «Лантанова фракція» і два сховища уранового виробництва: «ДП-6» та «База С». Загальна площа хвостосховищ становить приблизно 270 га, загальна активність — приблизно $3 \cdot 10^{15}$ Бк. Щорічно із хвостосховищ до атмосфери надходить $4,3 \cdot 10^{13}$ Бк радону та 23,9 т радіоактивного пилу середньою питомою активністю 3,7 кБк/кг, із сховищ відходів уранового виробництва — $2,3 \cdot 10^{13}$ Бк радону та 8,9 т радіоактивного пилу середньою питомою активністю 2,9 МБк/кг [1].

Відходи уранового виробництва складавалися в глиняних ярах і кар'єрах, що не були для цього спеціально підготовлені. Єдине хвостосховище, спеціально спроектоване для зберігання відходів уранового виробництва, — «Сухачівське», секція 2 [1, 2].

Хвостосховища, після припинення функціонування ВО «ПХЗ», не були приведені в екологічно безпечний стан відповідно до чинних нормативно-законодавчих вимог щодо перепрофілювання уранових виробництв [3]. Це призвело до забруднення значної території Дніпродзержинська і прилеглих до хвостосховищ населених пунктів. Тому, поряд з оцінкою впливу хвостосховищ на довкілля, актуальною є оцінка дозових навантажень та ризиків для населення.

Мета даної роботи — оцінка індивідуальних і колективних дозових навантажень та радіаційних ризиків для населення, які обумовлені надходженням до атмосферного повітря радону і радіоактивного пилу від хвостосховищ ВО «ПХЗ».

Оцінку індивідуальних і колективних дозових навантажень, які отримує населення, що перебуває в безпосередній близькості від хвостосховищ, виконано за допомогою розробленого Агентством з охорони навколишнього середовища США (Environmental Protection Agency) [4] програмного комплексу CAP88-PC (Clean Air Act Assessment Package-1988) версії 2007 року. У розрахунках використовувалися файли характерних для північно-східної частини Придніпровської височини метеорологічних умов, створені на основі розподілу по категоріях стабільності атмосфери за даними метеостанції м. Нікополь [5, 6].

Метеорологічні показники [7], застосовані в розрахунках: середньорічна сума опадів — 51,3 см; середньорічна температура повітря — 6,6 °C; висота шару перемішування — 1038 м.

Дані про споживання харчових продуктів на душу населення й кількість населення в населених пунктах взято за статистичними збірниками України [8].

Характеристику хвостосховищ як джерел забруднення атмосферного повітря наведено в табл. 1 [6].

Крім того, у розрахунках прийнято, що всі вирощені продукти споживаються на місці, концентрації радону в атмосферному повітрі та в повітрі приміщення не відрізняються, радіоактивний пил вдихається лише протягом 20 % всього часу (час, коли людина не перебуває в приміщенні).

Виходячи з отриманих даних, з'ясовано, що у формуванні дозових навантажень від радону, його продуктів розпаду (ДПР) та радіоактивного пилу превалюють три шляхи: інгаляція; споживання продуктів харчування, що містять радіонукліди; зовнішнє опромінення.

Таблиця 1. Характеристика джерел викидів

Найменування сховища	Площа, тис. м ²		Середній вміст у пилу, Бк/кг					Щільність потоку радону з поверхні, Бк·м ⁻² ·с ⁻¹
	пиління	радоно-виділення	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²³⁰ Th	²¹⁰ Po	²¹⁰ Pb	
«Західне»	—	40,2	—	—	—	—	—	0,003–3,075
«Центральний Яр»	—	24,0	—	—	—	—	—	0,24–2,57
«Південно-східне»	36	58	2594	733	3560	1190	866	0,673
«Дніпровське»	730	730	—	—	—	—	—	0,001–2,58
«Сухачівське», секція 1	346	906,8	2500	6200	5980	11120	11140	0,03–1,475
«Сухачівське», секція 2	185	698,8	—	—	—	—	—	0,005–0,046
«База С»	128,5	330	358–57022	201–3590	760–221652	493–129952	44977–493256	1,25–21,2
Доменна піч № 6	—	6,0	—	—	—	—	—	0,017–0,05

Внесок радону та його ДПР у формування дози становить, %: ²²²Rn — 0,017; ²¹⁴Bi — 55; ²¹⁴Pb — 43; ²¹⁰Pb — 1,03. Отже, у формування дози, внаслідок виділення радону з хвостосховищ, основний внесок дає не ²²²Rn, а його дочірні продукти розпаду.

Внесок нуклідів у формування дози від пилу, %: ²³⁰Th — 57; ²²⁶Ra — 18; ²³⁸U — 9; ²³⁴U — 8; ²¹⁰Pb — 4.

Для критичної групи кожного населеного пункту визначено індивідуальні дози, а також колективні дози від усіх хвостосховищ для конкретних населених пунктів.

Важливим фактором у формуванні критичних груп населення є те, що три хвостосховища («Західне», «Центральний Яр», «Південно-Східне») розташовані на території

Таблиця 2. Індивідуальна річна доза від всіх хвостосховищ ВО «ПХЗ», обумовлена радоном, його ДПР, пилом, та сумарна доза

Населений пункт	Індивідуальна доза від радону та його ДПР, мкЗв/рік	Індивідуальна доза від пилу, мкЗв/рік	Індивідуальна сумарна доза, мкЗв/рік
Дніпродзержинськ	3,11E+02	2,48E+00	3,13E+02
Курилівка	4,65E+01	7,24E-01	4,72E+01
Карнаухівка	3,16E+02	2,52E+00	3,19E+02
Таромське	3,35E+02	2,49E+00	3,38E+02
Горького	4,92E+02	2,66E+00	4,95E+02
Ясне	2,89E+02	1,35E+00	2,91E+02
Шевченко	2,51E+02	6,05E-01	2,52E+02
Орджонікідзе	2,99E+02	1,35E+00	3,01E+02
Миколаївка ¹	2,91E+02	2,38E+00	2,94E+02
Миколаївка ²	6,19E+01	1,36E+00	6,33E+01
Благовіщенка	2,91E+02	1,29E+00	2,92E+02
Долінське	3,10E+02	2,49E+00	3,13E+02
Сухачівка	2,91E+02	2,32E+00	2,93E+02
Пашена Балка	4,76E+02	1,64E+00	4,77E+02
Нове	4,60E+02	1,08E+00	4,61E+02

¹ с. Миколаївка Дніпропетровського району Дніпропетровської області.

² с. Миколаївка Петриківського району Дніпропетровської області.

Таблиця 3. Колективна річна доза від радону, його ДПР, пилу та сумарна доза від хвостосховищ ВО «ПХЗ»

Населений пункт	Колективна доза від радону та його ДПР, люд.·Зв/рік	Колективна доза від пилу, люд.·Зв/рік	Колективна сумарна доза, люд.·Зв/рік
Дніпродзержинськ	7,55E+01	6,02E-01	7,61E+01
Курилівка	1,23E-01	1,92E-03	1,25E-01
Карнаухівка	2,08E+00	1,66E-02	2,10E+00
Таромське	5,31E+00	3,94E-02	5,35E+00
Горького	4,80E-01	2,59E-03	4,82E-01
Ясне	4,25E-02	1,99E-04	4,27E-02
Шевченко	2,27E-01	5,46E-04	2,28E-01
Орджонікідзе	9,52E-02	4,30E-04	9,56E-02
Миколаївка ¹	1,11E+00	9,06E-03	1,12E+00
Миколаївка ²	7,96E-02	1,75E-03	8,13E-02
Благовіщенка	9,99E-02	4,41E-04	1,00E-01
Долінське	4,62E-02	3,71E-04	4,66E-02
Сухачівка	3,14E+00	2,50E-02	3,16E+00
Пашена Балка	1,80E-01	6,20E-04	1,80E-01
Нове	2,94E-02	6,91E-05	2,95E-02

Таблиця 4. Індивідуальний ризик виникнення стохастичних ефектів від радону та його ДПР, пилу і сумарний ризик від хвостосховищ ВО «ПХЗ» за 70 років

Населений пункт	Індивідуальний ризик від радону та його ДПР	Індивідуальний ризик від пилу	Сумарний індивідуальний ризик
Дніпродзержинськ	1,59E-03	1,27E-05	1,60E-03
Курилівка	2,37E-04	3,70E-06	2,42E-04
Карнаухівка	1,62E-03	1,29E-05	1,63E-03
Таромське	1,72E-03	1,27E-05	1,73E-03
Горького	2,51E-03	1,36E-05	2,53E-03
Ясне	1,48E-03	6,90E-06	1,48E-03
Шевченко	1,29E-03	3,09E-06	1,29E-03
Орджонікідзе	1,53E-03	6,92E-06	1,53E-03
Миколаївка ¹	1,49E-03	1,22E-05	1,50E-03
Миколаївка ²	3,16E-04	6,91E-06	3,23E-04
Благовіщенка	1,49E-03	6,57E-06	1,49E-03
Долінське	1,58E-03	1,27E-05	1,60E-03
Сухачівка	1,48E-03	1,18E-05	1,50E-03
Пашена Балка	2,43E-03	8,40E-06	2,44E-03
Нове	2,35E-03	5,52E-06	2,36E-03

Таблиця 5. Кількість виникнення стохастичних ефектів за 70 років, які обумовлені радоном, його ДПР та пилом, від хвостосховищ ВО «ПХЗ»

Населений пункт	Кількість стохастичних ефектів, які обумовлені радоном та його ДПР	Кількість стохастичних ефектів, які обумовлені радіоактивним пилом	Сумарна кількість стохастичних ефектів
Дніпродзержинськ	3,86E+02	3,08E+00	3,89E+02
Курилівка	6,31E-01	9,80E-03	6,41E-01
Карнаухівка	1,06E+01	8,47E-02	1,07E+01
Таромське	2,72E+01	2,01E-01	2,74E+01
Горького	2,45E+00	1,32E-02	2,46E+00
Ясне	2,17E-01	1,02E-03	2,18E-01
Шевченко	1,16E+00	2,79E-03	1,16E+00
Орджонікідзе	4,87E-01	2,20E-03	4,89E-01
Миколаївка ¹	5,66E+00	4,63E-02	5,71E+00
Миколаївка ²	4,07E-01	8,89E-03	4,15E-01
Благовіщенка	5,10E-01	2,25E-03	5,12E-01
Долінське	2,36E-01	1,90E-03	2,38E-01
Сухачівка	1,60E+01	1,28E-01	1,62E+01
Пашена Балка	9,17E-01	3,16E-03	9,24E-01
Нове	1,51E-01	3,54E-04	1,51E-01

Дніпродзержинська, а решта («Сухачівське», секції 1, 2, «Дніпровське», «База С») — на прилеглих територіях.

Згідно із Законом України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання», основна дозова межа індивідуального опромінення населення не повинна перевищувати 1 мЗв/рік [9] незалежно від умов та шляхів її формування. Відповідно до Норм радіаційної безпеки України [10, п. 5.5.4, табл. 5.2], квота ліміту дози опромінення населення від пунктів поховання радіоактивних відходів повітряним шляхом формування не повинна перевищувати 20 мкЗв/рік. Як видно з табл. 2, рівень опромінення від радіоактивного пилу досить низький. Найбільші індивідуальні дози отримує населення с. Горького ($4,95 \cdot 10^2$ мкЗв/рік), с. Пашена Балка ($4,77 \cdot 10^2$ мкЗв/рік), с. Нове ($4,61 \cdot 10^2$ мкЗв/рік); ці показники менші за 1 мЗв, але значно перевищують квоту ліміту дози.

Максимальні колективні дози опромінення (табл. 3) спостерігаються в таких населених пунктах, як Дніпродзержинськ (76,1 люд.·Зв/рік), Таромське (5,35 люд.·Зв/рік) та Карнаухівка (2,1 люд.·Зв/рік).

Індивідуальний радіаційний ризик виникнення стохастичних ефектів за 70 років (табл. 4), який розраховано за коефіцієнтом ризику, визначеним документом [11], що відповідає українському законодавству [10], суттєво перевищує прийнятний ризик для населення 10^{-6} . Максимальний ризик мають жителі населених пунктів Горького, Пашена Балка та Нове.

Максимальна кількість виникнення стохастичних ефектів за 70 років (табл. 5) може спостерігатися для населених пунктів Дніпродзержинськ, Таромське та Сухачівка.

Враховуючи, що колективна доза характеризує радіаційну небезпеку хвостосховищ, ранжируємо їх за зменшенням внеску в сумарну колективну дозу:

від радону та його ДПР:

«База С» → «Сухачівське», секція 1 → «Західне» → «Південно-Східне» → «Центральний Яр» → «Дніпровське» → «Сухачівське», секція 2;

від радіоактивного пилу:

«База С» → «Сухачівське», секція 1 → «Дніпровське» → «Південно-Східне» → «Сухачівське», секція 2 → «Центральний Яр» → «Західне».

Висновки

Результати дослідження показали, що найбільший внесок у формування дози для населення від радону, його ДПР та пилу належить сховищу уранового виробництва «База».

Індивідуальна доза від радону, його ДПР та пилу для критичної групи населення, яке проживає в с. Горького, с. Пашена Балка, с. Нове, становить близько 50 % допустимої річної дози, встановленої Законом України «Про захист людини від іонізуючого випромінювання», та більше ніж у 20 разів перевищує квоту ліміту дози опромінення населення від хвостосховищ повітряним шляхом.

Ризики виникнення стохастичних ефектів за 70 років суттєво перевищують прийнятний ризик для населення — 10^{-6} .

Одержані населенням дози від радону та його ДПР можна істотно зменшити, переробивши уранову руду сховища «База С».

Оцінка можливості довилучення урану дає позитивні результати. На даний момент такі дослідження проведено тільки для хвостосховища «Західне» [12]. За рангом внеску у формування дози від радону та його ДПР це хвостосховище стоїть на третьому місці, що може бути обумовлено високим вмісту урану в його відвалах. Треба дослідити можливості довилучення урану для хвостосховища «Сухачівське», секція 1, та оцінити економічну вигоду.

Для решти хвостосховищ: «Центральний яр», «Південно-Східне», «Дніпровське», «Сухачівське», секція 2, слід провести їх реабілітацію. Особливу увагу потрібно приділити хвостосховищу «Дніпровське» — його внесок у формування дози від радону та пилу порівняно з іншими хвостосховищами незначний, проте, згідно з висновками експертів МАГАТЕ [13], це хвостосховище є небезпечним для підземних вод та р. Дніпро.

Список використаної літератури

1. Лисиченко Г. В. Мировой опыт реабилитации урановых производств / Лисиченко Г. В., Ковач В. Е. // Сб. статей «Техногенно-экологическая безопасность и гражданская защита». — Кременчуг, 2011. — Вып. 6. — С. 4—12.
2. Коваленко Г. Д. Радиоэкология Украины: Монография. — 3-е изд., доп. и перераб. / Коваленко Г. Д. — Х. : ИД «ИНЖЕК», 2013. — 344 с.
3. Науково-методичний супровід і обґрунтування регламентів комплексного моніторингу впливу уранових об'єктів колишнього ВО «ПХЗ» на навколишнє природне середовище та населення : Звіт про науково-дослідну роботу / ЦМДПТ; керівник О. В. Войцехович; викон. Т. В. Лаврова, В. А. Гірій, О. Б. Костеж та ін. — К., 2005. — Т. 4. — 148 с. — № держреєстрації 0105U003695.
4. Rosnick R., 2013, «CAP88-PC Version 3.0 User Guide» available at: URL: http://www.epa.gov/radiation/docs/cap88/V3userguide_020913.pdf
5. Рекомендации по установлению предельно допустимого и контрольного уровня выбросов углерода-14 (для Запорожской АЭС) / ИБФ МЗ РФ; Руководитель О. А. Кочетков; исполн. Н. А. Верховецкий, В. П. Рублевский. — М., 1992. — 11 с.
6. Наукова еколого-експертна оцінка радіаційного впливу хвостосховищ та інших радіаційно небезпечних об'єктів колишнього ВО «ПХЗ» (м. Дніпропетровськ) : Звіт про науково-дослідну роботу / УкрНДІЕП; керівник В. І. Вітько; викон. Г. Д. Коваленко, В. І. Вітько, В. В. Карташов, А. І. Кузін, М. П. Якименко, Л. І. Гончарова. — Х., 2006. — 143 с. — № держреєстрації 01050008522.
7. Екологічний атлас Дніпропетровської області / Анісімова Л. Б., Бондаренко Л. В., Горобець Н. В., Данько Т. Т., Ємець М. А., Ільченко Н. В., Кириченко В. А., Козлова Л. М., Копач П. І., Кравець С. О., Махота І. В., Оксамитний О. Ф., Остапенко Н. С., Підложнюк Л. А., Просандеев М. І., Сердюк С. П., Сердюк Я. Я., Скрипник О. О., Сметана С. М., Тяпкін О. К., Шапар А. Г., Шаруділо Г. Т., Шматков Г. Г., Якубенко Л. В.; За заг. ред. А. Г. Шапара. — Дніпропетровськ : Моноліт, 2009. — 64 с.
8. Статистичний щорічник України за 2013 рік / За ред. О. Г. Осауленка. — К. : Державна служба статистики України, 2014. — 532 с.
9. О защите человека от влияния ионизирующего излучения : Закон Украины 15/98-ВР от 14.01.1998 // Офіційний вісник України від 26.02.1998. — № 6. — Стор. 55. — Стаття 211. — Код акту 4826/1998.
10. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) : Державні гігієнічні нормативи. — К. : Відділ поліграфії Укр. центру держсанепіднагляду МОЗ України, 1998. — 125 с.
11. Radiation protection. ICRP Publication 60 1990 Recommendations of the International Commission on Radiocological Protection (ICRP). — N.Y. : Pergamon Press, 1991. — 197 p.
12. Оценка возможности дозвращения урана из радиоактивных отходов хвостохранилища «Западное» / Ю. Н. Сорока, А. И. Мочанов, А. А. Подрезов, Е. А. Каулько, В. Ю. Коровин, Ю. Н. Погорелов, В. А. Меркулов, А. М. Валяев // Материалы 8-й междунар. конф. «Сотрудничество для решения проблем отходов», Харьков, 2011. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://waste.ua/cooperation/2011/theses/soroka.html>
13. Влияние радиоактивных отходов хвостохранилища «Днепровское» на окружающую среду / В. Ю. Коровин, Г. А. Семеченко, В. Н. Лебедев // Материалы 1-й междунар. конф. «Сотрудничество для решения проблем отходов», Харьков, 2004. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://waste.ua/cooperation/2004/thesis/korovin.html>

Reference

1. Lisichenko, G.V., Kovach, V.E. (2011), "World Experience of Uranium Production Facilities Remediation" [Mirovoi opyt rehabilitatsii uranovykh proizvodstv], Man-Made Environmental Safety and Civil Defence, Ed. 6, Kremenchug, pp. 4—12. (Rus)
2. Kovalenko, G.D. (2013), Radioecology of Ukraine: Monograph [Radioekologiya Ukrainy: Monografiia], 3-e ed. revised, Kharkiv, ID "INZhEK", 344 p. (Rus)
3. Voitsekovich, O.V., Lavrova, T.V., Hiriy, V.A., Kostezh, O.B. (2005), R&D Report "Scientific and Methodological Support and Justification of Procedures for Comprehensive Monitoring of Former PCP Uranium Facilities Impact on the Environment and Population" [Naukovo-metodychni suprovod i obgruntuvannya rehlementiv kompleksnoho monitorynhu vplyvu uranovykh ob'ektiv kolyshniho VO "PKhZ" na navkolyshnie prirodne seredovysche ta naseleння], Kyiv, CMDIPT, v. 4, 148 p. (Ukr)
4. Rosnick, R., (2013), "CAP88-PC Version 3.0 User Guide" available at: URL: http://www.epa.gov/radiation/docs/cap88/V3userguide_020913.pdf
5. Kochetkov, O.A., Verhovetsky, N.A., Rublevsky, V.P. (1992), "Recommendations for Establishment of Maximum Permissible and Controlled Level of Carbon-14 (for Zaporizhzhya NPP) [Rekomendatsii po ustanovleniiu predelno dopustimogo i kontrolnogo urovnia vybrosov ugleroda-14 (dlia Zaporozhskoi AES), Moscow, IBF MZ RF, 11 p. (Rus)
6. Vit'ko, V.I., Kovalenko, G.D., Kartashov, V.V. et al. (2006), "Scientific Ecological and Expert Assessment of Radiation Exposure from Tailings and Other Radioactive Facilities of the Former PCP (Dniprodzerzhinsk) [Naukova ekolohe-ekspertna otsinka radiatsiinoho vplyvu khvostokhovovsch ta inshykh radiatsiinoh nebezpechnykh ob'ektiv kolushniho VO "PCP"]", Kharkiv, UkrNIIEP, 143 p. (Rus)
7. Shapar, A. G., Anisimov, L.L., Bondarenko, L. V. et al. (2009), "Environmental Atlas of Dnipropetrovsk Region" [Ekolohichniy atlas Dnipropetrovskoi oblasti], Dnipropetrovsk, Monolit, 64 p. (Ukr)
8. Osaulek, O.H. (2014), "Statistical Yearbook of Ukraine for 2013" [Statystychniy schorichnyk Ukrainy za 2013 rik], Kyiv, State Statistics Service of Ukraine, 532 p. (Ukr)
9. On Protection of People against Ionizing Radiation (1998), The Law of Ukraine dated 14 January 1998, No. 15/98-VR
10. Radiation Safety Standards of Ukraine (NRBU-97) [Normy radiatsiinohi bezpeky Ukrainy] (1997) No. 62 dated 01 December, Kyiv, 127 p. (Ukr)
11. Radiation protection. ICRP Publication 60 1990 Recommendations of the International Commission on Radiocological Protection (ICRP) (1991), N.Y., Pergamon Press, 197 p.
12. Soroka, J.N., Mochanov, A.I., Podrezov, A.A., et al. (2011), "Evaluation of Possible Additional Recovery of Uranium from Radioactive Waste Tailings Zapadnoie" [Otsenka vozmozhnosti doizvlecheniia urana iz radioaktivnykh otkhodov khvostokhranilisha Zapadnoie], Proceedings of 8th International Conference "Cooperation in Waste Problems", Kharkiv, available at: <http://waste.ua/cooperation/2011/theses/soroka.html> (Rus)
13. Korovin, V.J., Semec, G.A., Lebedev, V.N. (2004), "Impact of Dneprovskoe Radioactive Waste Tailings on the Environment" [Vliianie radioaktivnykh otkhodov khvostokhranilisha Dneprovskoe na okruzhaiushchuiu srediu], Proceedings of 1st International Conference "Cooperation in Waste Problems", Kharkiv, available at: <http://waste.ua/cooperation/2004/thesis/korovin.html> (Rus)

Отримано 09.02.2015.