

І.О. Полякова¹, канд. техн. наук, А.М. Липницький²

(¹Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки,

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»)

ОЦІНКА РІВНЯ НЕБЕЗПЕК ХВОСТОСХОВИЩ РАДІОАКТИВНИХ МАТЕРІАЛІВ ВИДОБУВНОЇ ТА ПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Надано результати досліджень, розробок та адаптації програмного інструменту, що дозволяє провести оперативну оцінку стану хвостосховищ радіоактивних матеріалів природного походження, які виникли під час переробки уранових руд. Дотепер оцінка рівня стану небезпеки хвостосховищ була довготривалим процесом і проводилася тільки шляхом аналітичного моделювання, при цьому проводились попередні детальні польові та лабораторні дослідження та використання саме тих факторів, оцінок, характеристик і коефіцієнтів, що необхідно використовувати під час моделювання процесів, які проходять у тілі хвостосховищ та поза їх межами.

Враховуючи значну кількість місць зберігання радіоактивних матеріалів природного походження та їх можливий негативний вплив на людину і довкілля, який з часом зростає, існування програмного інструменту для попередньої (експрес-оцінки) оцінки стану хвостосховищ є нагальною необхідністю. Розроблений програмний інструмент є першим етапом більш детальних наукових досліджень та розробок, що супроводжуються експериментальними дослідженнями, моделюванням процесів, що відбуваються у тілі хвостосховища, міграцією радіонуклідів у ґрунтах, повітрі та поверхневими і підземними водами, а також розрахунків щодо негативного впливу на навколишнє середовище й людину.

Було проведено експрес-оцінку хвостосховища «Дніпровське», що є сховищем твердих радіоактивних матеріалів природного походження і належить Виробничому об'єднанню «Придніпровський хімічний завод» у м. Кам'янське (колишня назва - Дніпродзержинськ), діяльність якого припинено у 1991 році. Результати проведеної експрес-оцінки хвостосховища «Дніпровське», використовуючи запропонований програмний інструмент, в значній мірі схожі з оцінкою проведеною експертами МАГАТЕ, котрі зазначають, що це хвостосховище становить небезпеку для людей та довкілля. В рамках програмного інструменту було розроблено та використано систему інтерпретації сумарної оцінки небезпек.

Ключові слова: хвостосховища, експрес-оцінка рівня небезпеки, радіоактивні матеріали, радіотоксичність, хімічна токсичність, радіоактивні матеріали природного походження (РМПП), програмний інструмент.

I. Poliakova, A. Lypnytskiy

ASSESSMENT OF HAZARDS LEVEL OF RADIOACTIVE MATERIALS TAILINGS OF MINING AND PROCESSING INDUSTRY

This article presents the results of research, development and adaptation of a software tool that allows making an operational assessment of the state of tailings of radioactive materials of natural origin. Radioactive materials of natural origin arose during the processing of uranium ores. Until now assessment of the state of tailings has been a continuous process and has been carried out only through analytical modeling. Besides, it is impossible to perform analytical modeling of the processes in "bodies" of tailings and beyond their borders without previous field and laboratory investigations of specific factors, assessments, characteristics and coefficients

Because of the large number of storage sites for nature occurring radioactive materials and their possible negative effects on humans and the environment, which is increasing over time, the existence of a software tool for preliminary (express) assessment of the status of tailings is an urgent necessity. Developing of such software tool is the first step in the beginning of more detailed research and development, accompanied by experimental research, simulation of processes occurring in the bodies of the tailings storage, migration of radionuclides in soils, air and surface and groundwater, as well as calculations on the negative impact on the environment and a human.

An express evaluation was carried out for the tailing "Dniprovsk", which is a repository of solid radioactive materials of natural origin and belongs to the Production Association "Pridneprovsky Chemical Plant" in Kamyans'k (formerly known as the city of Dneprodzerzhinsk) whose activity was terminated in 1991. The results of the rapid assessment of the "Dniprovsk" tailing, using the proposed software tool, are largely similar to those of the IAEA experts, which indicated that the "Dniprovsk" is biohazardous. As part of the program tool, a system of interpretation of the total hazard assessment was developed and used.

Key words: tailings, express assessment of the level of danger, radioactive materials, radiotoxicity, chemical toxicity, nature occurring radioactive materials (NORM), software tool.

Постановка проблеми

Ядерно-паливний цикл (ЯПЦ) включає в себе такі ланки: видобування уранових руд, первинна переробка уранових руд, отримання уранового концентрату (закис-окис урану) U_3O_8 або діуранату натрію $Na_2U_2O_7$ або діуранату амонію $(NH_4)_2U_2O_7$, очищення і конверсія у гексафторид урану $U_3O_8 \rightarrow UF_6$, збагачення гексафториду урану UF_6 ізотопами ^{235}U до 4-5%, отримання діоксиду урану UO_2 і виготовлення тепловидільних елементів (ТВЕЛів) та тепловидільних збірок (ТВЗ), використання ТВЗ в реакторах АЕС, отримання відпрацьованого ядерного палива, поводження з відпрацьованим ядерним паливом.

Радіоактивні матеріали (РМ) видобувної і переробної промисловості утворюються у початкових ланках ЯПЦ і зберігаються у спеціальних місцях, що називають хвостосховищами. Хвостосховище – це спеціально спроектована гідротехнічна стаціонарна споруда або спеціально відведена замкнута (напівзамкнута) природна ємність, утворена специфікою рельєфу (схили, ущелини, балки тощо), або порожнина техногенного походження (вироблені кар'єри тощо), призначені для приймання, тимчасового зберігання та поводження з матеріалами переробки уранових руд, облаштовані інженерними та/або природними бар'єрами, які забезпечують ізоляцію цих відходів від контакту з наземними та підземними компонентами навколишнього природного середовища протягом експлуатації та тимчасового зупинення (консервації) переробного уранового об'єкта [1].

Хвостосховища радіоактивних матеріалів природного походження (РМПП) є надзвичайно небезпечними об'єктами для довкілля людини та живих організмів. Безпека хвостосховищ потребує регулярних перевірок цих об'єктів та встановлення критеріїв оцінки їх безпеки.

Рівень небезпеки хвостосховищ РМ природного походження постійно підвищується. На території України функціонують такі хвостосховища: Балка Щербаківська стара секція, Балка Щербаківська нова секція Гідрометалургійного заводу Державного підприємства «Східний гірничо-збагачувальний комбінат» (СхідГЗК). Існують хвостосховища підприємств, що припинили свою діяльність та знаходяться на території України, такі як Західне, Центральний Яр, Південно-Східне, Дніпровське, Сухачівське І-секція, Сухачівське ІІ-секція та інші виробничого об'єднання «Придніпровський хімічний завод» (ВО ПХЗ).

Переробка уранових руд супроводжується утворенням значних обсягів відходів збагачення, котрі мають суттєвий негативний вплив на екологічну безпеку регіону розміщення, оскільки є постійними джерелами радіонуклідного забруднення ґрунтів, повітря, поверхневих та підземних вод [2-4].

Звичайна практика будівництва хвостосховищ складалася зі створення гребель впоперек ярів, балок і малих річок. Дно і борти хвостосховищ не були покриті водонепроникними екранами або вкладками, тому такі об'єкти стали джерелами забруднення підземних і поверхневих вод, до того ж вони експлуатуються вже понад 50 років [5-12].

Крім того, аварії на хвостосховищах можуть призводити до довгострокового забруднення радіонуклідами води, ґрунту та повітря, що призводить до пошкодження біоти й має негативні наслідки для життєдіяльності людей. Прориви дамб можуть призвести до неконтрольованих та раптових скидів і викидів небезпечних речовин, що містяться у хвостосховищах, а також негативні наслідки таких інцидентів для людини і навколишнього середовища та важкі транскордонні наслідки.

Серед продуктів розпаду урану і торію значна роль у радіаційному забрудненні навколишнього природного середовища, в основному, належить радіонуклідам, що віднесені до уранового та торієвого рядів: ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{212}Pb , ^{210}Pb , ^{212}Po , ^{210}Po , ^{222}Rn , ^{220}Rn . Ці радіонукліди характеризуються високою міграційною здатністю у природному середовищі, високою хімічною та радіаційною токсичністю та зумовлюють значну частку зовнішнього і внутрішнього опромінення людини.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Оцінку небезпеки хвостосховищ РМПП для навколишнього середовища та людини (персонал, працівники та усе населення) [13, 14] було проведено з використанням спеціальних програмних інструментів, таких як ECOLEGO (розроблено у Facilia AB, Sweden) та NORMALISA, що рекомендовано МАГАТЕ. Оцінку індивідуальних і колективних дозових навантажень, які отримує населення, що перебуває у безпосередній близькості від хвостосховищ, виконують за допомогою розробленого Агентством з охорони навколишнього середовища США (Environmental Protection Agency) [15] програмного комплексу CAP88-PC (Clean Air Act Assessment Package). Використовуючи ці програмні інструменти можна оцінити ризики впливу радіонуклідів природного походження, що знаходяться у спеціально відведених місцях накопичення та тимчасового зберігання, на людину та довкілля. При цьому необхідні попередні детальні польові та лабораторні дослідження та використання саме тих факторів, оцінок, характеристик і коефіцієнтів, які необхідно використовувати під час моделювання процесів, що проходять у тілі хвостосховищ та поза їх межами.

Спеціалістами Державного підприємства «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки» (ДНТЦ ЯРБ) та Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (КПІ) було адаптовано й спеціально розроблено програмний інструмент для оперативної оцінки стану хвостосховищ радіонуклідів, що виникли під час переробки уранових руд.

Метою роботи було створення програмного інструменту, що дозволить швидко оцінити небезпеку хвостосховищ РМПП на людину та довкілля. Програмний інструмент було створено та адаптовано для хвостосховищ урановидобувної та переробної промисловості за факторами небезпеки, такими як: об'єм хвостосховища, хімічна токсичність та радіаційна токсичність елементів і сполук у хвостосховищах, статус хвостосховища і проведення моніторингових робіт, також місце розташування уранового об'єкта, тобто сейсмічна небезпека та небезпека повені, небезпека/ризик прориву дамби, а також гідроізоляція та заходи з пилепригнічення.

Виклад основного матеріалу

Програмний інструмент для швидкої оцінки небезпеки хвостосховищ було створено за допомогою широко розповсюдженого програмного продукту Microsoft Excel 2010 з використанням вбудованої в нього мови програмування Visual Basic for Application. Це дало змогу полегшити його використання та сприяло кращому налагодженню інтерактивного взаємозв'язку між програмою та користувачем. Методику розрахунку було розроблено на основі результатів наукового дослідження «Екологічний аудит промислових хвостосховищ із застосуванням контрольних списків як передумова підвищення їх екологічної безпеки» [16, 17] й адаптовану для хвостосховищ РМ природного походження.

Оцінка стану хвостосховищ відбувається поетапно у сім кроків з подальшим сумуванням балів по кожному з параметрів та узагальненням результату.

Використовуючи консервативний підхід, у разі відсутності значень деяких параметрів, або якщо їх неможливо визначити, мають бути використані максимальні значення оцінок відповідних небезпек.

Для прикладу, було проведено оцінку хвостосховища «Дніпровське» з існуючих 9 хвостосховищ. Воно є сховищем твердих РМ природного походження і належить ВО ПХЗ, м. Кам'янське (Дніпродзержинськ) що займалося переробкою уранових руд з 1949 по 1991 роки [18].

На поточний час, нагляд за об'єктами, на яких зберігаються радіоактивні матеріали уранопереробки колишнього ВО ПХЗ, передано для моніторингу та спостережень створеному у 2001 році Державному підприємству «Бар'єр» (ДП «Бар'єр») [19].

У таблиці 1 наведено критерії оцінки стану хвостосховища «Дніпровське», показників відповідно до варіантів, зазначених у програмі, та відповідна оцінка і сума балів по сховищу в цілому.

Таблиця 1

Крок №	Критерій, що оцінюється	Обраний показник відповідно до варіантів зазначених в програмі	Оцінка
1	Ємність	5,84 млн м ³	7
2	Токсичність	– радіотоксичність – група А – клас хімічної токсичності – клас 2	5
3	Управління хвостосховищем	– хвостосховище занедбане з господарем	1
4	Місце розташування	– ймовірність землетрусів – 5 балів (за 12-бальною шкалою MSK-64) [7] – ймовірність повені: висока (потрапляє до зони HQ ₁₀₀)	1
5	Дамба	– вік хвостосховища становить 63 роки – захисні дамби споруджено із нескільких порід та ґрунтів – ширина гребеня та дамби невідома	3
6	Гідроізоляція	відсутня	2
7	Пилопридушення (пилопригнічення)	наявне та виконує свої функції	0
Сумарна оцінка:			21

Отриманий результат розрахунку і оцінки стану хвостосховища «Дніпровське» є досить високим, адже становить 21 бал і у відповідності до запропонованої нами системи інтерпретації сумарної оцінки небезпек, наведеної у таблиці 2, це хвостосховище є високо небезпечним, тобто таким, що завдає значного негативного впливу на людей та довкілля, і потребує негайного втручання для покращення його стану до рівня гарантованої безпеки.

Таблиця 2

Сумарна оцінка	Інтерпретація
0-9	Низько небезпечне хвостосховище
10-16	Помірно небезпечне хвостосховище
17-26	Високо небезпечне хвостосховище

Слід зазначити, що результати проведеної експрес-оцінки хвостосховища «Дніпровське», використовуючи запропонований програмний інструмент, в значній мірі схожі з оцінкою, проведеною експертами МАГАТЕ [20], котрі зазначають, що це хвостосховище становить небезпеку для людей та довкілля.

Відмінністю, яка відіграла суттєву роль в адаптації Методики проведення оцінки хвостосховищ видобувної промисловості, стало поняття токсичності, тобто радіотоксичності саме для хвостосховищ урановидобуваної промисловості.

Люди, що працюють на промислових підприємствах з комбінованою хімічною та радіаційною небезпекою, зазнають токсичного навантаження як від хімічних, так і радіаційних компонентів.

Прикладами таких підприємств є:

- підприємства з видобутку корисних копалин (залізні, уранові або торієві руди, графїт тощо);
- переробка руд (включаючи гідрометалургійні підприємства);
- поводження з радіоактивними відходами (включаючи переробку відпрацьованого ядерного палива на хімічних підприємствах);
- збагачення уранових та торієвих руд;
- моніторинг досліджень хвостів тощо.

У цьому випадку радіонукліди та їх сполуки мають подвійну токсичність:

1. Хімічна токсичність, що обумовлена хімічними властивостями елементів та їх сполук.

2. Токсичність радіоактивних елементів і нуклідів або радіотоксичність.

Загальний вплив на організм людини буде виражатися в кількості хімічної токсичності та токсичності випромінювання за формулою:

$$T = T_x + T_p \quad (1)$$

T_x – хімічна токсичність, T_p – токсичність випромінювання.

У радіотоксикології всі радіонукліди консолідуються в чотирьох групах радіаційної небезпеки (група радіотоксичності): група А, група В, група С, група D (таблиця 3), починаючи від радіонуклідів з дуже високим рівнем радіотоксичності до мінімального [21, 22].

Таблиця 3

Групи радіотоксичності	Радіонукліди
Група А (радіонукліди що мають особливо високий рівень радіотоксичності)	^{210}Pb , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{230}Th , ^{232}Th (включаючи природний), ^{232}U , ^{238}Pu , ^{237}Np , ^{241}Am та інші.
Група В (радіонукліди з високою радіотоксичністю)	^{224}Ra , ^{106}Ru , ^{130}I , ^{131}I , ^{152}Eu , ^{144}Ce , ^{210}Bi , ^{230}Th , ^{235}U , ^{238}U , ^{234}U , ^{241}Pu , ^{90}Sr та інші.
Група С (радіонукліди з середньою радіотоксичністю)	^{22}Na , ^{32}P , ^{35}S , ^{36}Cl , ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{89}Sr , ^{90}Y , ^{93}Mo , ^{125}Sn , ^{140}Ba , ^{234}Th та інші.
Група D (радіонукліди з низькою та мінімальною радіотоксичністю)	Група включає наступні радіонукліди: ^7Be , ^{14}C , ^{18}F , ^{40}K , ^{51}Cr , ^{55}Fe , ^{64}Cu , ^{129}Te , ^{131}Cs , ^{197}Pt , ^{197}Hg , ^{200}Tl , ^{210}Pb та інші. Також ця група включає тритій (^3H) і його хімічні сполуки (оксиди тритію та важку воду).

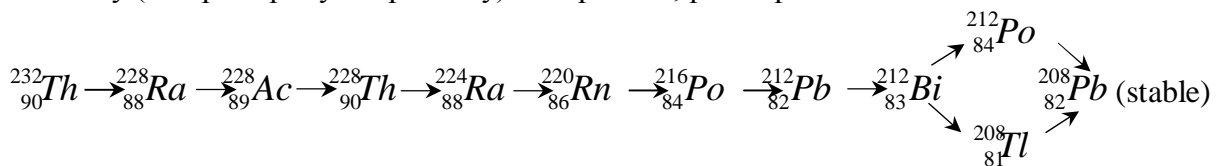
У ситуації, коли ми маємо радіонукліди з різних груп радіаційної небезпеки, їх активність еквівалентна групі А радіотоксичності відповідно до формули [22]:

$$A = A_A + 0.1A_B + 0.01A_C + 0.001A_D \quad (2)$$

A – загальна активність; A_A , A_B , A_C , A_D – активності радіонуклідів груп А, В, С, D.

Також слід зазначити, що під час розпаду радіонуклідів утворюються дочірні продукти розпаду, які можуть бути як стабільними, так і радіоактивними.

Що стосується природних радіонуклідів, які об'єднані у природні радіоактивні ряди, то необхідно враховувати хімічний та радіотоксичний вплив кожного радіонукліда у цьому ланцюжку (дочірні продукти розпаду). Наприклад, ряд торію:



У цьому випадку ми повинні враховувати хімічний та радіаційний вплив (2) таких елементів $^{232}_{90}\text{Th}$, $^{228}_{88}\text{Ra}$, $^{228}_{89}\text{Ac}$, $^{228}_{90}\text{Th}$, ..., $^{212}_{84}\text{Po}$, $^{208}_{81}\text{Tl}$ та тільки хімічний вплив стабільного $^{208}_{82}\text{Pb}$.

Висновки

Враховуючи значну кількість місць зберігання РМПП та їх можливий негативний вплив на людину та довкілля, який з часом зростає, існування програмного інструменту для попередньої (експрес-оцінки) оцінки стану хвостосховищ є нагальною необхідністю. Ця програма є першим етапом на початку більш детальних наукових досліджень та розробок, що супроводжуються експериментальними дослідженнями, моделюванням процесів, що відбуваються у тілі хвостосховища, міграцією радіонуклідів у ґрунтах, повітрі та поверхневими і підземними водами, а також розрахунків щодо негативного впливу на навколишнє середовище й людину.

Гарантом безпеки РМ ядерних технологій вважається повна відсутність негативного впливу іонізуючого випромінювання на довкілля і процеси життєдіяльності живих організмів.

Список літератури:

1. Вимоги та умови безпеки (Ліцензійні умови) провадження діяльності з переробки уранових руд. Наказ ДІЯРУ від 27.05.15 № 101.
2. Маринич О.В., Бондаренко Г.Н., Колябіна І.Л., Гудзенко В.В. Миграционная способность радионуклидов уранового ряду в хвостохранилище «Днепровское» // Зб. наук. праць ІГНС НАН України. – 2009. – Вип.17. – С. 10–19.
3. Бондаренко Г.Н., Маринич О.В., Колябіна І.Л. Оценка динамики выноса природных радионуклидов из хвостохранилищ производства урана. // Зб. наук. праць ІГНС НАН України. – 2011. – Вип.19. – С. 65–69.
4. Бондаренко Г.М., Маринич О.В., Колябіна І.Л., Левчук С.Є. Порухення радіоактивної рівноваги в ряді розпаду урану-238 у хвостосховищах уранового виробництва. // Зб. наук. праць ІГНС НАН України. – 2012. – Вип. 21. – С. 4–9.
5. Кодуто Д.П. Геотехнічна інженерія: принципи й практика. Prentice Hall. 1998. – 759 с.
6. Будівництво в сейсмічних районах України. Національний стандарт України. ДБН В.1.1-12:2006. 2006. – К., 84 с.
7. Єврокод 8. Проектування сейсмостійких конструкцій. Частина 1. Загальні правила, сейсмічні впливи і правила для будівель. 2003 р.
8. Довідковий документ з найкращих доступних технологій для управління хвостосховищами й породними відвалами в гірничодобувній діяльності. СЕК ООН, 2009. – 511 с.
9. Керівні принципи та належна практика забезпечення експлуатаційної безпеки хвостосховищ. СЕК ООН, Нью-Йорк і Женева. – 2014. – 34 с.
10. Хвостосховища і шламонакопичувачі. Національний стандарт України. ДБН В.2.4-5:2012. Частина I. Планування. Частина II. Будівництво. 2012. – К., 70 с.
11. Design and Evaluation of Tailings Dams. Technical Report, U.S. EPA 530-R-94-038, 1994, – 59 р.
12. Improving Tailings Dam Safety: Critical Aspects of Management, Design, Operation and Closure. ICOLD Committee on tailings dams, Bulletin 139.2011.
13. Електронний ресурс. Код доступу: https://www.researchgate.net/publication/265716459_Radiological_Safety_Assessment_of_the_Zapadne_Uranium_Tailings_Facility_Dnieprodzerzhinsk_Ukraine
14. Електронний ресурс. Код доступу: https://www.researchgate.net/publication/284440417_NORMALYSA_tool_for_Safety_Assessment_and_Uranium_Residues_Management_Overview_of_IAEA_MODARIA_project_WG-3_activities_2012_-2015
15. Rosnick R., 2013, «CAP88-PC Version 3.0 UserGuide» availableat: URL: http://www.epa.gov/radiation/docs/cap88/V3userguide_020913.pdf
16. Ніколаєва І.О. «Екологічний аудит промислових хвостосховищ із застосуванням контрольних списків як передумова підвищення їх екологічної безпеки», дисертаційна робота, К.: – 2017р., 204 с.,
17. Класифікація хвостосховищ гірничодобувної промисловості. Заключний звіт. Підготовано DHI Water Environment Health у співробітництві з Геотехнічним інститутом Швеції і університетом науки і технології AGH, Краків. Європейська комісія, ГД з навколишнього середовища, 2007. – 204 с.
18. Постанова Кабінету Міністрів України від 26 листопада 2003 року №1846 Про затвердження Державної програми приведення небезпечних об'єктів виробничого об'єднання «Придніпровський хімічний завод» в екологічно безпечний стан і забезпечення захисту населення від шкідливого впливу іонізуючого випромінювання <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1846-2003-%D0%BF>.
19. Матеріали з офіційного сайту ДП «Бар'єр» <http://baryer.dp.ua>.

20. Коваленко Г. Д., Дурасова Н. С. Оцінка радіаційної небезпеки хвостосховищ Придніпровського хімічного заводу для населення <http://dspace.nbuu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/105006/09Kovalenko.pdf?sequence=1>

21. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) : Державні гігієнічні нормативи. — К. : Відділ поліграфії Укр. центру держсанепідемнагляду МОЗ України, 1998. — 125 с

22. Державні гігієнічні нормативи. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України (ОСПУ-2005). К.: Відділ поліграфії Укр. центру держсанепідемнагляду МОЗ України, 2005. – 85 с.

References:

1. Requirements and conditions of security (Licensing conditions) for the processing of uranium ores. Order SNRCU of Ukraine dated May 27, 15 No. 101. Retrived from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0700-15> (in Ukr.)

2. Marinych O., Bondarenko G., Kolyabina I., Gudzenko V.(2009). *Migration Capacity of the Uranium Radionuclides in the tailing “Dneprovskoe”* Kyiv: Collection of scientific works by the IGNS of the National Academy of Sciences of Ukraine. Issue 17. – P. 10-19 (in Rus.)

3. Bondarenko G., Marinich O., Kolyabina I. (2011). *Estimation of dynamics of removal of natural radionuclides from tailings of uranium production.* Kyiv: Collection of scientific works by the IGNS of the National Academy of Sciences of Ukraine. Issue.19. – P. 65-69 (in Rus.)

4. Bondarenko G., Marinich O., Kolybaina I., Levchuk S. (2012). *Violation of the radioactive equilibrium in a series of disintegration of uranium-238 in the tailings of uranium production.* Kyiv: Collection of scientific works by the IGNS of the National Academy of Sciences of Ukraine. Issue 21. – P. 4-9 (in Ukr.)

5. Koduto D. (1998) *Geotechnical Engineering: Principles and Practice.* Prentice Hall. - 759 pp (in Ukr.)

6. *Construction in seismic areas of Ukraine. National standard of Ukraine.* DBN V.1.1-12: 2006. 2006. – Kyiv., 84 p. (in Ukr.)

7. Eurocode 8. (2003) *Designing seismic resistant structures. Part 1. General rules, seismic influences and rules for buildings* (in Eng.)

8. *Reference document on best available technologies for the management of tailings and waste heaps in mining activities* (2009) EEC UN, -511 p. (in Eng.)

9. *Guiding principles and good practice for ensuring the operational safety of tailings storage facilities* (2014) UNECE, New York and Geneva. -34 p. (in Eng.)

10. *Tail storage and sludge storage. National standard of Ukraine (2012)* DBN V.2.4-5: 2012. Part I. Planning. Part II Construction. Kyiv. 70 p.(in Ukr.)

11. *Design and Evaluation of Tailings Dams.* Technical Report, U.S. EPA 530-R-94-038, 1994, – 59 p. (in Eng.)

12. *Improving Tailings Dam Safety: Critical Aspects of Management, Design, Operation and Closure.* (2011). ICOLD Committee on tailings dams, Bulletin 139 (in Eng.)

13. Electronic resource. Access code: https://www.researchgate.net/publication/265716459_Radiological_Safety_Assessment_of_the_Zapadne_Uranium_Tailings_Facility_Dnieprodzerzhinsk_Ukraine. (in Ukr.)

14. Electronic resource. Access code: https://www.researchgate.net/publication/284440417_NORMALYSA_tool_for_Safety_Assessment_and_Uranium_Residues_Management_Overview_of_IAEA_MODARIA_project_WG-3_activities_2012_-2015 Rosnick R., 2013 (in Ukr.)

15. Rosnick R., 2013, «CAP88-PC Version 3.0 User Guide» availableat: URL: Retrieved from http://www.epa.gov/radiation/docs/cap88/V3userguide_020913.pdf (in Ukr.)

16. Nikolaeva I. *Ecological audit of industrial tailings storages with the use of checklists as a prerequisite for improving their environmental safety* (2017) dissertation paper. Kyiv, 204 p.

17. *Classification of tailings in the mining industry. Final report. Prepared by DHI Water Environment Health in cooperation with the Swedish Geotechnical Institute and the AGH University of Science and Technology, Krakow. European Commission, DG Environment, 2007.-204 p. (in Eng.)*

18. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of November 26, 2003, No. 1846 *On Approval of the State Program for the Reduction of Hazardous Objects of the Production Association "Pridneprovsky Chemical Plant" in an environmentally safe state and ensuring the protection of the population against the harmful effects of ionizing radiation* Retrieved form <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1846-2003-%D0%BF>. (in Ukr.)

19. Materials from the official site of the State enterprise "Barrier". Access code <http://baryer.dp.ua>. (in Ukr.)

20. Kovalenko G., Durasova N. *Estimation of the radiation hazard of the tailings storage facilities of the Pridneprovsky chemical plant for the population.* Retrived form <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/105006/09Kovalenko.pdf?sequence=1> (in Ukr.)

21. *Norms of Radiation Safety of Ukraine (NRBU-97): State Hygiene Standards.* – Kyiv: Department of Polygraphy Ukr. Center of State Sanitary and Epidemiological Inspection of the Ministry of Health of Ukraine, 1998. – 125 p (in Ukr.)

22. *State Hygiene Standards. Basic sanitary rules of radiation safety of Ukraine (OSPU-2005).* K. : Department of Polygraphy Ukr. Center of State Sanitary and Epidemiological Inspection of the Ministry of Health of Ukraine, 2005. – 85 p. (in Ukr.)

