

Рецензія на дисертацію Заноза Богдана Юрійовича
«Аналіз геоміграційних процесів і оцінки впливу радіоактивного і хімічного
забруднення підземних вод на уранових спадкових об'єктах на довкілля і населення»,
поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії
в галузі знань 103 - природничі науки за спеціальністю 10 - науки про Землю

Детально ознайомившись з дисертацією та науковими публікаціями здобувача, наступним чином можу оцінити її науковий рівень.

Актуальність теми

Робота присвячена експериментальному та теоретичному (методом математичного моделювання) дослідженню негативного впливу хвостосховища «Західне» на довкілля та людину. Хвостосховище «Західне» відноситься до так званих об'єктів ядерного спадку, які мають значні відмінності від інших об'єктів поводження з відходами ядерного паливного циклу. Перш за все, до складу хвостів входять тільки природні радіонукліди, що корінним чином відрізняє їх від інших радіоактивних відходів. По друге, до хвостосховищ надходять природні радіоактивні матеріали, які пройшли фізико-хімічну обробку (подрібнення, вилуговування та інші стадії технологічного ланцюжка виробництва уранового концентрату), що відрізняє їх від відходів об'єктів з видобутку уранової руди. Одночасно з радіоактивними матеріалами до хвостосховищ потрапляє значна кількість реагентів, які використовуються у технологічному процесі. У хвостосховищах зберігається величезний об'єм таких відходів та вони обладнані вкрай ненадійною системою інженерних бар'єрів. Особливістю хвостосховищ, розташованих на промайданчику колишнього Придніпровського хімічного заводу (ПХЗ) є те, що вони розташовані в межах міста і можуть становити пряму радіологічну та хімічну загрозу населенню, яка визначається, в першу чергу, геоміграційними процесами. Таким чином актуальність теми не викликає сумнівів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами: Дисертаційна робота була скоординована з виконанням бюджетної теми III- 11-20 «Моніторинг, прогнозування і оцінка ризиків небезпечних гідрогеологічних процесів у складних природно-техногенних і інженерних умовах», та проектом технічної допомоги Норвезького агентства радіаційного захисту для ДП «Бар'єр» № 6181269 «Зменшення ризику та вдосконалення системи моніторингу на майданчику Придніпровського хімічного заводу, Україна».

Ступінь обґрунтованості та достовірності результатів і висновків, сформульованих в роботі.

Обґрунтованість та достовірність сформульованих у дисертації наукових положень і висновків забезпечується значним об'ємом експериментальних (натурних) досліджень, виконаних дисертантом з використанням обґрунтовано вибраних методик та відповідного обладнання, використанням методик та засобів моделювання, які відповідають найкращим

світовим практикам проведення таких досліджень і рекомендовані та розроблені поважними міжнародними організаціями, такими, наприклад, як МАГАТЕ.

Дослідження побудовано логічно, з послідовним переходом від одного етапу до іншого. Мета і завдання дослідження сформульовані чітко та зрозуміло. Висновки є логічними та відповідають поставленим завданням, а також повною мірою відображають результати дослідження.

Викладене вище переконливо доводить, що наукові положення, висновки, сформульовані дисертантом є належно обґрунтованими та достовірними.

Наукова новизна результатів досліджень. Теоретичне і практичне значення одержаних результатів

Найбільш значущими науковими результатами дисертаційної роботи Б.Ю. Заноза є:

Отримано значний об'єм нових актуальних даних щодо хімічного та радіонуклідного складу підземних вод в зоні впливу об'єктів, розташованих на проммайданчику ПХЗ а також уточнено величини ряду параметрів: інфільтраційного живлення підземних вод на різних геоморфологічних ділянках території дослідження, інфільтраційних витоків із хвостосховища, величин швидкості фільтрації підземних вод, сорбційних коефіцієнтів розподілу для матеріалів хвостосховища «Західне» і ґрунтів водоносного горизонту в зоні його впливу.

Побудована концептуальна модель хвостосховища «Західне» і розроблена комплексна математична модель для прогнозування небезпечних впливів досліджуваного об'єкту на гідрогеологічне середовище і населення, яка поєднує фільтраційну, геохімічну, геоміграційну моделі а також моделі радіологічних і токсикологічних впливів.

З використанням отриманих експериментальних даних, уточнених параметрів та розроблених моделей дисертантом встановлено, що, за поточних умов, використання підземних і поверхневих вод в зоні впливу об'єктів ПХЗ не призводить до неприйнятних радіологічних впливів на довкілля та населення. За результатами консервативних токсикологічних оцінок потенційно небезпечним є споживання питної води із свердловин внаслідок її забруднення ураном, та споживання риби з р.Коноплянка внаслідок її забруднення манганом.

За результатами прогнозного моделювання міграції радіоактивних забруднювачів із хвостосховища автором встановлено, що радіоактивне забруднення підземних вод в зоні впливу хвостосховища є довгостроковою проблемою: ореол забруднених ураном (>100 Бк/л) підземних вод 22 мігрує за межі промислового майданчику ПХЗ через $420 (\pm 100)$ років, і досягне 23 р.Коноплянка через $580 (\pm 120)$ років.

За результатами прогнозного моделювання радіологічних та токсикологічних впливів на гідрогеологічне середовище дисертантом показана необхідність довгострокових обмежень на водокористування підземними водами нижче за потоком від хвостосховища в межах промислового майданчику ПХЗ, а в більш довгостроковій перспективі - і за його межами.

За результати моделювання ряду варіантів ремедіаційних заходів показано, що сценарій «ремонт водопровідних мереж на проммайданчику ПХЗ» призведе до помітного зменшення швидкостей фільтрації, і сприятиме кращій захищеності підземних і поверхневих вод від радіоактивного забруднення.

Практичне значення отриманих результатів полягає у обґрунтуванні стратегії поводження з спадковими урановими об'єктами, що націлена на попередження (або мінімізацію) негативного впливу забруднених підземних вод на довкілля і населення. Усі запропоновані дисертантом підходи до оцінки радіологічних та токсикологічних впливів на гідрогеологічне середовище та населення є універсальними та можуть бути використані для інших схожих об'єктів ядерного спадку.

Структура та зміст роботи.

Структура дисертації визначається метою, завданням та предметом дослідження і складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, списку публікацій здобувача за темою дисертації та одного додатку. Дисертація викладена на 163 сторінках. Обсяг основного тексту складає 152 сторінки. Робота містить 18 таблиць та 37 рисунків. Список використаних джерел включає 162 найменування, серед яких 119 – англomовні.

Розділ 1 розділений на дві частини. У першій частині (розділ 1.1) наведено стислий огляд технологічної схеми процесу переробки уранової руди в урановий концентрат, загальну характеристику хвостів, які утворюються в цьому процесі, їх характерний хімічний і радіонуклідний склад а також стислу інформацію щодо характерних особливостей об'єктів зберігання хвостів – хвостосховищ (уранових спадкових об'єктів). Також у розділі 1.1 представлена інформація щодо шляхів потенційних негативних впливів, огляд нормативного регулювання у сфері забезпечення безпеки уранових спадкових об'єктів для довкілля та населення. Друга частина розділу 1 (розділ 1.2) містить інформацію щодо техногенних та природних умов об'єкту дослідження а також узагальнення результатів попередніх досліджень, які виконувались на його території.

У розділі 2 описані роботи з відновлення і розвитку системи гідрогеологічного моніторингу на майданчику ПХЗ, що виконувались у 2019-2020 рр. а також викладені результати обстеження та моніторингу підземних вод за допомогою цієї вдосконаленої мережі, які були виконані в межах дисертаційного дослідження. Зокрема, у розділі наведені актуальні дані щодо гідрохімічного та радіонуклідного складу підземних вод, вмісту токсичних металів у них, уточнені величини коефіцієнтів фільтрації та величини швидкості фільтрації підземних вод, актуальні дані щодо режиму рівнів ґрунтових вод (РГВ). Результати виконаних досліджень показали наявність в межах майданчику ПХЗ додаткових джерел значного хімічного і радіоактивного забруднення геологічного середовища, які сформувались в період експлуатації

заводу. Також у розділі описана база гідрогеологічної інформації, яка була створена в межах дисертаційних досліджень за допомогою сучасного програмного забезпечення. Слід зазначити, що представлені у даному розділі дані послужили вихідною інформацією для подальших досліджень, результати яких представлені у розділах 3-5.

У розділі 3 наведено результати схематизації гідрогеологічних умов хвостосховища «Західне» та аналізу геохімічних умов у ньому. Методом водно-балансових розрахунків показано, що забруднення водоносного горизонту в алювіальних відкладах сформувалося, головним чином, під час експлуатації хвостосховища. Методом аналізу коливань РГВ в спостережних свердловинах на основі даних, отриманих дисертантом (розділ 2) уточнені значення інфільтраційного живлення підземних вод в межах досліджуваної ділянки, які виявилися майже у два рази вище, ніж це вважалося раніше. Ці результати були надалі використані для прогнозного моделювання довгострокових впливів хвостосховища на населення і навколишнє середовище (розділ 5).

Методом геохімічного моделювання визначено форми знаходження радіонуклідів і токсичних елементів у підземних водах. Показано, що міграція забруднювачів із хвостосховища відбувається переважно в окислювальних умовах. Уран знаходиться у ступені окислення +6 і мігрує, головним чином, у вигляді нейтральних та негативно заряджених карбонатних комплексів. Манган знаходиться у ступені окислення +2, головним чином у вигляді катіону Mn^{2+} . Показано, що уповільненню міграції забруднювачів сприяють зменшення мінералізації підземних вод та підвищення їх окислювано-відновлювального потенціалу.

Для ряду радіонуклідів (^{238}U , ^{226}Ra та ^{210}Pb) за результатами вимірювань *in situ* уточнено величини коефіцієнтів розподілу K_d для матеріалів хвостосховищ. Одержані уточнені значення K_d урану є помітно нижчими, ніж визначені в лабораторних дослідах. Також на основі результатів моніторингу показано, що на поточний момент спостерігається уповільнення розширення ореолу забруднення підземних вод ураном під впливом як гідрогеологічних (зменшення інфільтрації техногенних вод із хвостосховища), так і геохімічних (зміна рН, мінералізації, наявний геохімічний бар'єр уздовж стрічки току підземних вод) чинників.

У цьому розділі також представлена розроблена дисертантом концептуальна модель уранового хвостосховища «Західне», яка показує шляхи міграції забруднювачів в геологічному середовищі і потенційні негативні впливи забруднених підземних і поверхневих вод на населення. Ця концептуальна модель була надалі дисертантом використана для оцінки радіологічних та токсикологічних впливів на населення (розділ 4).

Розділ 4 присвячений оцінці радіологічних та токсикологічних впливів хвостосховища на мешканців сусідніх з ним територій. Оцінка радіологічних наслідків виконана за методологією ISAM, яка була розроблена МАГАТЕ для оцінки радіологічних впливів радіаційно небезпечних об'єктів на людину і довкілля. Оцінка радіологічних наслідків була проведена з використанням програми МАГАТЕ «Normalysa», яка в ході виконання

дисертаційних досліджень була доповнена моделлю накопичення забруднювачів у зрошуваних культурах, розробленою також МАГАТЕ. Для оцінки токсикологічних впливів використана методика, розроблена Агенцією з охорони навколишнього середовища США.

Як вихідні використані дані, детально описані дисертантом у розділах 2 та 3. Джерелом інформації щодо параметрів, які не наведені у цих розділах були рекомендовані МАГАТЕ документи та Інтегрована система інформації про ризики. Для виконання оцінки були сформульовані 3 сценарії використання забруднених підземних і поверхневих вод населенням поблизу майданчика ПХЗ. Для кожного сценарію були розглянуті два набори вихідних даних – реалістичний та консервативний. Оцінка радіологічних впливів виконана для ^{238}U , ^{234}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , токсикологічних впливів – для U, Mn, Ni, Cr, Pb. Слід зазначити, що використані методики та засоби моделювання відповідають сучасним світовим практикам виконання таких досліджень а розглянуті сценарії є обґрунтованими.

Дисертантом показано, що радіологічні впливи за сформованих на даний час умов не перевищуються нормативні вимоги. У разі реалізації консервативних наборів параметрів можливими є неприйнятні токсикологічні впливи урану (головним чином за рахунок вживання підземних вод як питних) та мангану в наслідок його накопичення в рибі, проте останнє твердження потребує додаткового окремого дослідження. Токсикологічні впливи інших розглянутих елементів є низькими. В той же час, використання підземних вод на промисловому майданчику ПХЗ становить потенційну радіологічну та токсикологічну загрозу для населення, тому рекомендовано вести моніторинг ореолів розповсюдження забруднених підземних вод та ввести довгострокові обмеження на їх використання. Для розглянутих сценаріїв були було розраховано набір дозових коефіцієнтів, які можна використовувати для оцінок радіологічних та токсикологічних впливів на населення для інших майданчиків

У розділі 5 представлені результати прогнозного моделювання довгострокових негативних впливів хвостосховища «Західне» на населення та навколишнє середовище. Для цього були побудовані гео-фільтраційна та гео-міграційна моделі, які були відповідним чином відкалібровані на основі уточнених в ході виконання дисертаційного дослідження даних щодо геологічної будови та гідрогеологічних умов території в зоні впливу хвостосховища «Західне» (гео-фільтраційна модель) а також з використанням результатів спостережень за радіоактивним забрудненням підземних вод на цій території (гео-міграційна модель).

Отримані дисертантом на основі уточнених даних за допомогою детальної геофільтраційної моделі величини швидкості фільтрації в водоносному горизонті в зоні впливу хвостосховища суттєво вищі за величини, отримані в попередніх дослідженнях за допомогою регіональної моделі, що є важливим для виконання прогнозного моделювання. Також для прогнозування міграції забруднювачів та оцінки довгострокових радіологічних та токсикологічних наслідків важливими є уточнені дисертантом коефіцієнти сорбційного розподілу.

Дисертантом показано, що забруднення підземних вод та формування неприйнятних радіологічних та токсикологічних наслідків в зоні впливу хвостосховища є довгостроковою проблемою, що підтверджує сформульовану у попередньому розділі рекомендацію щодо необхідності довгострокового обмеження використання підземних вод в межах промислового майданчика ВО ПХЗ, а в більш віддаленій перспективі і за його межами. Забруднення р. Коноплянка внаслідок міграції радіонуклідів та токсичних металів з хвостосховища не створює неприйнятних радіологічних і токсикологічних впливів.

Також у даному розділі представлені результати моделювання впливу 4 сценаріїв ремедіації проммаданчику ПХЗ і зміни клімату на гідродинамічні умови фільтрації підземних вод в зоні впливу хвостосховища «Західне». Встановлено, що ремонт водопровідних мереж на проммайданчику ПХЗ може привести до помітного зменшення швидкостей і збільшення часу фільтрації, що буде сприяти кращій захищеності підземних і поверхневих вод від радіоактивного забруднення. Інші заходи (поглиблення русла р.Коноплянка, створення нового екрану, вилучення відходів із хвостосховища), навпаки, призведуть до збільшення швидкості фільтрації і практично не вплинуть на її час. До аналогічних змін призведе і довгострокова зміна клімату.

Таким чином, усі шість основних висновків (наукова новизна) дисертаційної роботи Б.Ю. Заноза впливають з виконаних ним натурних досліджень та результатів моделювання, є змістовними і обґрунтованими, мають теоретичне і практичне значення.

Рівень виконання поставленого наукового завдання

Ознайомлення з текстом дисертації дає підстави стверджувати, що за структурою та змістом вона відповідає вимогам до наукових робіт із гідрогеології. У тексті дисертації вичерпно і повно розкриті основні положення виконаного дисертантом дослідження, детально описані використані методи та методики, висвітлені результати та висновки. Привертає увагу логічність та послідовність викладення матеріалу, обґрунтоване використання значного набору сучасного, досить різноманітного програмного забезпечення. Слід також відмітити високий рівень виконання поставленого наукового завдання.

Наукові положення і висновки дисертації достатньо повно висвітлені в опублікованих працях Б.Ю. Заноза. Кількість та обсяг публікацій, що розкривають основний зміст роботи відповідають встановленим вимогам.

Таким чином, як за глибиною опрацювання, так і за рівнем висвітлення отриманих здобувачем результатів у науковій літературі та рівнем апробації, можна вважати, що поставлене наукове завдання є виконаним.

Дотримання академічної доброчесності.

У дисертації Б.Ю. Заноза та його наукових публікаціях за темою дисертації не виявлено фактів академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Використані в роботі ідеї, результати

і тексти інших авторів мають посилання на відповідне посилання на відповідне літературне джерело. Повнота, стиль і мова викладення. Відповідність діючим вимогам щодо оформлення дисертації.

Стиль викладення матеріалів - науковий, між частинами дисертації наявний чіткий причинно-наслідковий зв'язок. Спосіб подання матеріалів дослідження, наукових положень дисертації, висновків забезпечують легкість та доступність їх сприйняття.

Оформлення дисертації відповідає вимогам, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. № 40.

Зауваження до дисертації.

Суттєвих недоліків у змісті чи формі роботи немає.

До дисертаційної роботи Б.Ю. Заноза у мене є наступні незначні зауваження.

У роботі немає посилань на українські нормативні акти. Хоча ці акти відповідають нормам та рекомендаціям МАГАТЕ та МКРЗ, проте їх доцільно було б згадати у розділі 1.

У тексті є певні технічні помилки, наприклад у таблиці 10 (стор. 96, розділ 4.1) зміщені рядочки, у таблиці 12 (стор.102, розділ 4.3) відсутня інформація про яку йде мова у тексті, у формулі на сторінці 116 (розділ 5.2) помилка у формулі, на рисунках 34 та 35 (розділ 5.2) не повністю показана легенда.

Доцільно було б розглянути комбінацію сценаріїв, які автор змодельював у розділі 5.2.6, проте це є скоріше не зауваженням, а побажанням для подальшої роботи.

Висловлені зауваження мають скоріше редакційний характер і ніяким чином не зменшують наукової і практичної цінності отриманих дисертантом результатів і не впливають на високу оцінку дисертації рецензентом.

Загальний висновок.

Дисертація Заноза Богдана Юрійовича «Аналіз геоміграційних процесів і оцінки впливу радіоактивного і хімічного забруднення підземних вод на уранових спадкових об'єктах на довкілля і населення» присвячена актуальній темі, основні наукові положення і висновки є обґрунтованими і достовірними й достатньо висвітленими у наукових публікаціях.

Дисертація Заноза Богдана Юрійовича «Аналіз геоміграційних процесів і оцінки впливу радіоактивного і хімічного забруднення підземних вод на уранових спадкових об'єктах на довкілля і населення» відповідає чинним вимогам п.п. 6, 7, 8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» постанови Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Дисертація «Аналіз геоміграційних процесів і оцінки впливу радіоактивного і хімічного забруднення підземних вод на уранових спадкових об'єктах на довкілля і населення» є завершеним самостійним науковим дослідженням, містить наукову новизну, має практичне і теоретичне значення, а її автор Заноз Богдан Юрійович заслуговує присудження наукового

ступеня доктора філософії у галузі знань 10 - природничі науки за спеціальністю 103 - науки про Землю.

Офіційний рецензент:
Завідувача відділу гідрогеологічних проблем
ІГН НАН України
кандидат геол. наук

І.Л. Колябіна