

ВІДГУК

офіційного опонента доктора геологічних наук, старшого наукового співробітника

ШЕВЧЕНКА Олексія Леонідовича

на дисертаційну роботу

Заноза Богдана Юрійовича на тему:

**«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: 10 – Природничі науки, за спеціальністю 103
– «Науки про Землю»**

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів з висновками по кожному розділу, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи – 163 сторінки. Дисертація містить 18 таблиць, 37 рисунків, 1 додаток. У списку використаних джерел 162 найменування.

СТУПІНЬ АКТУАЛЬНОСТІ ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Після Чорнобильської катастрофи соціальна увага до об'єктів ядерного циклу посилилась і на сьогодні підвищену стурбованість викликають об'єкти видобутку та збагачення урану, а також спадкові уранові об'єкти, які виведені з експлуатації без проведення достатнього обсягу реабілітаційних заходів.

Забруднення підземних вод радіонуклідами і хімічними речовинами часто є одним із основних шляхів впливу уранових об'єктів на довкілля і людину. За відсутності досвіду експлуатації уранові хвостосховища у багатьох випадках мали недостатньо надійні інженерні бар'єри, що призводило до забруднення ґрунтових вод через фільтраційні втрати вміщуючих радіонукліди вод із тіла хвостосховищ. Небезпечними забруднювачами підземних вод окрім радіонуклідів є залишки реагентів та метали, які містяться як супутні рудні елементи у хвостах.

На сьогодні рівень вивченості питань, пов'язаних із ступенем та характером забруднення компонентів навколишнього середовища навколо об'єктів уранового циклу вимагає подальшої еволюції у розумінні комплексних впливів залишкового забруднення на людину та напрацювання досконалих захисних і реабілітаційних заходів. Для цього необхідно розробити спочатку концептуальну, потім прогностичні (для кількох вірогідних сценаріїв) моделі, що симулюють негативні впливи екологічно-небезпечних уранових об'єктів на довкілля і людину, з врахуванням шляхів міграції забруднювачів в геологічному середовищі, захисних факторів і можливих сценаріїв використання підземних і поверхневих вод місцевим населенням (питне постачання, зрошення і т. ін.).

Тому дослідження виконані на урановому хвостосховищі «Західне», яке є найбільш серйозним джерелом радіоактивного і хімічного забруднення підземних вод на майданчику Придніпровського хімічного заводу (м. Кам'янське) можна сприймати як еталонні або достатньо репрезентативні для даної категорії небезпечних об'єктів.

ОЦІНКА ОБҐРУНТОВАНOSTІ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ, ЇЇ ДОСТОВІРНОСТІ ТА НОВИЗНИ

Усі наукові висновки та положення дисертації **обґрунтовані** дисертантом на основі тривалих експериментальних досліджень, кількарізних польових пробовідборів та спостережень безпосередньо на об'єкті і обробкою їх результатів за допомогою сучасних досконалих науково-прикладних методів. Були використані польові методи відбору зразків для визначення радіоактивного та хімічного забруднення підземних вод, дослідно-фільтраційні та водно-балансні методи. Визначення параметрів для моделювання, таких як коефіцієнти фільтрації, інфільтраційне живлення, було *верифіковане* кількома методами. Отримані значення параметрів автор також порівнював із їх значеннями, які були отримані попередніми дослідниками на цій території. Для математичного моделювання різних процесів були підібрані відповідні сучасні програмні засоби. Так моделювання геофільтраційних процесів виконано за допомогою програми Visual Modflow; для моделювання гідрогеохімічних умов підземного середовища використана програма PHREEQC. Для моделювання геоміграційних процесів і оцінки радіологічних впливів на населення залучені методики, рекомендовані МАГАТЕ і МКРЗ, на основі використання програмного забезпечення NORMALYSA. Для оцінки токсикологічних впливів на населення використані методики, рекомендовані Агентством охорони навколишнього середовища США (US EPA). Внаслідок застосування цих методів вдалось достатньо повно розкрити і охарактеризувати джерела, шляхи та особливості формування радіоактивного забруднення ґрунтових та поверхневих вод на площі успадкованій від об'єкту уранового збагачення, розрахувати різнобічні потенційні ризики для населення. Тобто **новизна результатів** полягає також у піонерному використанні для обраного та подібних об'єктів такої комбінації новітніх засобів моделювання.

Як зазначає автор, окремі напрацювання дисертаційної роботи увійшли до звіту з наукової бюджетної теми III-11-20 «Моніторинг, прогнозування і оцінка ризиків небезпечних гідрогеологічних процесів у складних природно-техногенних і інженерних умовах», а також апробовані під час виконання проекту технічної допомоги Норвезького агентства радіаційного захисту для ДП «Бар'єр» № 6181269. Тобто результати дисертаційної роботи пройшли серйозну перевірку на **достовірність** шляхом рецензування та обговорення під час захисту звітної документації за бюджетною темою та проектом.

Новизна одержаних результатів полягає в тому, що автор вперше виконав схематизацію гідрогеологічних умов та аналіз геохімічних умов для уранового хвостосховища «Західне»: оцінив інфільтраційне живлення підземних вод на різних геоморфологічних ділянках, фільтраційні витoki із хвостосховища, швидкість фільтрації підземних вод, виконав зонування редокс-умов, виділив ключові забруднювачі підземних вод. Автором також вперше для даного об'єкту побудовано комплексну математичну модель для прогнозування небезпечних впливів на гідрогеологічне середовище і населення, що поєднує фільтраційну (Visual Modflow), геохімічну (PHREEQC), геоміграційну модель (NORMALYSA) та моделі радіологічних і токсикологічних впливів. Вперше для радіоактивних забруднювачів хвостового матеріалу і ґрунтів водоносного горизонту для хвостосховища «Західне» одержано ключові міграційні параметри - сорбційні коефіцієнти розподілу (K_d). Вперше для поточних умов в зоні впливу об'єктів ПХЗ виконані оцінки радіологічних та токсикологічних (від токсичних металів) впливів на населення, спричинених радіоактивно і хімічно забрудненими підземними і поверхневими водами. Вперше виконано довгострокові прогнози міграції радіоактивних забруднювачів із уранового хвостосховища «Західне» в підземні і поверхневі води (р.Коноплянка), оцінено результуючі радіологічні і токсикологічні впливи (від урану) для вірогідних сценаріїв використання забруднених вод місцевим населенням.

ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці послідовних кроків у поводженні з спадковими урановими об'єктами щодо попередження або мінімізації негативного впливу забруднених підземних вод на довкілля і населення.

Запропоновано новий методичний алгоритм, що поєднує польові дослідження, моніторингові спостереження та комплексне моделювання.

Отримані результати можуть бути використані на інших спадкових об'єктах видобутку та збагачення урану.

ОПРИЛЮДНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Наукові результати дисертації висвітлені у 12 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 6 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 3 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, 1 – в матеріалах конференції, які індексуються у наукометричній базі Scopus, 5 – в матеріалах та тезах науково-практичних конференцій.

Отже автор має достатню кількість публікацій прийняттого наукового рівня за період з 2020 по 2024 рр., що засвідчують значний досвід здобувача та

його здібність до самостійного наукового аналізу результатів та наукової діяльності загалом.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі достатньо повно апробовані і висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

АНАЛІЗ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, її зв'язок із науковими програмами; сформовано мету і задачі досліджень; визначено методи, об'єкт і предмет досліджень, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів; наведені дані щодо публікацій, апробації результатів дослідження, структури і об'єму дисертації; зазначено особистий внесок автора у працях. Зауваження щодо новизни викладено вище, в попередніх розділах відгука.

У *розділі 1* розглянуто проблеми негативного впливу на гідрогеологічне середовище і населення уранових хвостосховищ. Перша частина розділу присвячена огляду характеристик подібних об'єктів, шляхів потенційних негативних впливів, огляду нормативного регулювання у сфері забезпечення безпеки уранових спадкових об'єктів для довкілля та населення. Обґрунтовуючи необхідність використання методів моделювання, автор підкреслює, що для параметризації моделей необхідно отримати радіоекологічні параметри (коефіцієнти накопичення радіонуклідів у продуктах рослинного і тваринного походження, сорбційні коефіцієнти та ін.), які слід визначити для кожного конкретного майданчика. За відсутності специфічних даних для майданчика можна використовувати узагальнені дані, які скомпільовані у звітах МАГАТЕ (TRS-472; SRS-19 та ін.). Для обґрунтування стратегії поводження з об'єктами ядерного спадку необхідна інформація щодо радіологічних та токсикологічних впливів цих об'єктів на населення. Тому в окремому підрозділі дисертації розглянуто нормативні акти з регулювання безпеки уранових об'єктів ядерного спадку для населення та довкілля а також наведено типову схему проведення ремедіації забрудненої території (IAEA, 2022).

У другій частині першого розділу окремі підрозділи присвячено описанню антропогенних і природних умов місця розташування Придніпровського хімічного заводу та уранового хвостосховища «Західне», а також історії їх функціонування. Також детально розглянуто результати попередніх досліджень на об'єкті, виконаних іншими дослідниками, в т.ч. геохімічні дослідження хвостового матеріалу та моніторинг забруднення; виконано огляд проектів з ремедіації промислового майданчику ПХЗ і поточної ситуації в районі хвостосховища, детально охарактеризовано гідрогеологічні умови.

У *другому розділі* «Вдосконалення системи моніторингу підземних вод, створення бази даних спостережень і польові гідрогеологічні дослідження на проммайданчику ПХЗ» описано результати робіт з відновлення і розвитку

системи гідрогеологічного моніторингу на майданчику ПХЗ і обстеження підземних вод із залученням вдосконаленої мережі свердловин (2019-2021 рр.). Також представлено результати дослідно-фільтраційних робіт, націлених на уточнення фільтраційних характеристик водоносного горизонту в алювіальних відкладах. Описано створену в рамках дисертаційних досліджень базу даних гідрогеологічної інформації для ПХЗ, що є основою для подальших робіт з моделювання фільтраційних і гео-міграційних процесів, і для оцінки впливу забруднювачів підземних вод на довкілля і людину. Достатньо детально описано методи та результати аналітичних робіт: вміст у підземних водах макроіонів, важких металів та радіонуклідів ряду урану-238. В результаті опробування нових спостережних свердловин виявлені нові джерела істотного хімічного і радіоактивного забруднення геологічного середовища на Південному майданчику ПХЗ, зокрема в зоні басейнів-відстійників № 220 і 230.

У *третьому* розділі виконано гідрогеологічну схематизацію і аналіз геохімічних умов уранового хвостосховища «Західне». Уточнені (методом гідрохімічного балансу) значення інфільтраційного живлення підземних вод у зоні впливу хвостосховища «Західне» в межах першої тераси (200 мм/рік) і другої тераси (150 мм/рік) приблизно вдвічі вищі, ніж ті, що використовувалися в попередніх дослідженнях з гідрогеологічного моделювання ПХЗ і були призначені експертним шляхом. Отримані результати в подальшому використані в розд. 5 під час розробки математичних моделей фільтрації та міграції радіонуклідів із хвостосховища. У кінці розділу представлено концептуальну модель негативних впливів об'єкту дослідження на гідрогеологічне середовище та населення, яка була використана для оцінок відповідних радіологічних та токсикологічних впливів.

У *четвертому* розділі представлено результати оцінки поточних радіологічних та токсикологічних впливів на населення, яке проживає поблизу промайданчика ВО ПХЗ, спричинених радіоактивним і хімічним забрудненням підземних і поверхневих вод (р. Коноплянка, р. Дніпро) внаслідок витоків забруднюючих речовин з уранових хвостосховищ та інших забруднених об'єктів, розташованих на промисловому майданчику ВО ПХЗ. Для розглянутих сценаріїв водокористування було розраховано набір дозових коефіцієнтів, за допомогою яких можна розраховувати потенційні радіологічні та токсикологічні впливи на населення за спрощеною методикою на інших майданчиках, що є істотним науково-практичним здобутком автора. Виконана з використанням рекомендованих МАГАТЕ скринінгових моделей оцінка доз показала, що за сучасних умов використання підземних і поверхневих вод в зоні впливу ПХЗ не створює неприйнятних радіологічних впливів на населення.

В *п'ятому* розділі представлено геофільтраційну і геоміграційну моделі та виконано комплекс розрахунків прогнозних радіологічних і токсикологічних впливів на людину і довкілля. Побудована здобувачем детальна профільна

геофільтраційна модель хвостосховища «Західне» (на основі програми Visual Modflow) була відкалібрована із використанням уточнених даних про геологічну будову і гідрогеологічні умови досліджуваної ділянки. Модельовані швидкості фільтрації у водоносному горизонті в зоні впливу хвостосховища «Західне» виявились істотно вищими (приблизно на 50%), ніж їх попередні оцінки на регіональній фільтраційній моделі. Результати моделювання свідчать про необхідність обмежень на використання підземних вод нижче за потоком від хвостосховища в межах промислового майданчику ПХЗ, а в довгостроковій перспективі – і за його межами. При цьому забруднення р. Коноплянка за рахунок міграції радіонуклідів із хвостосховища не являє неприйнятних радіологічних і токсикологічних впливів завдяки розбавленню концентрації забруднень в поверхневих водах.

Запитання та зауваження до дисертаційної роботи:

1) Важко розгледіти наукову новизну у такій постановці шостого пункту: «Проведено аналіз ефективності ремедіаційних заходів, що плануються на проммайданчику ПХЗ щодо мінімізації негативного впливу хвостосховища «Західне» на підземні і поверхневі води». Тут скоріше проглядається практичне значення означених досліджень. Проте не зрозуміло, чи застосував автор якісь оригінальні засоби аналізу, чи виявив він якісь недоліки, чи є в нього конструктивні зауваження, які посилюють ефективність ремедіаційних заходів, економлять кошти на їх проведення тощо.

2) В розділі 1.2.1: «Розташування, антропогенні і природні умови» описано геологічний розріз від кристалічного архей-протерозойського фундаменту до неогенових відкладів, проте чомусь відсутнє описання четвертинних відкладів та типів покривних ґрунтів.

3) В розділі 1.2.8 вказується (за матеріалами інших дослідників), що різні важкі метали мають різну інтенсивність вилуговування з трьох різних хвостосховищ «Західне», «Центральний яр» та «Дніпровське». Важливо було б також пояснити чим обумовлені ці відмінності.

4) На рис. 10 зображено не паспорт свердловини а її геотехнічний розріз.

5) Не коректним є твердження: «Серед радіонуклідів найбільша мобільність в підземних водах притаманна ізотопам урану-238/234» (стор. 61, рядки 24-25). Мабуть автор мав на увазі найбільшу мобільність в підземних водах *серед досліджуваних радіонуклідів* (визначались також свинець-210 і полоній-210, радій-226), або *серед радіонуклідів поширених на проммайданчику ПХЗ*. Оскільки, добре відомо, що ^{90}Sr (хоча він продукт розпаду урану-235) має кращу мобільність (показник інтенсивності міграції), як в окиснювальному, так і у різко відновлювальному середовищі.

6) Що автор має на увазі під «*екраном* свердловини» в описанні трасерного експерименту на стор. 67: «Швидкість зменшення концентрації

індикатора використовується для визначення швидкості потоку підземних вод через *екран* свердловини»? Можливо це піщано-гравійна обсіпка фільтру?

7) Значення коефіцієнта фільтрації, визначені методом експрес-наливів та за результатами трасерного експерименту з визначення швидкості фільтрації істотно відрізняються. Який метод автор вважає більш достовірним, та яке значення коефіцієнту фільтрації приймав для фільтраційної моделі?

8) Рівняння на стор. 77 не пронумеровані, в них також відсутній параметр C_1 , який згадується вище в тексті серед таких, що міститься у рівняннях. Очевидно, що рівняння

$$Q_{gw} \times C_3 = Q_{gw} \times C_2 + Q_{inf} \times L \times C_3 \quad (1)$$

містить щонайменше дві помилки: перша – замість C_3 в кінці рівняння повинен бути C_1 ; друга – не збережений баланс маси (знак рівності не має бути). Оскільки $Q_{inf} \times L$ не дорівнює нулю (очевидно, що Q_{inf} представляє шар атмосферного живлення по площі хвостосховища, якщо рівень у хвостосховищі залишається сталим, або шар перетікання по площі хвостосховища в ґрунтові води), то і Q_{gw} не може мати одне й те ж значення в правій та лівій частинах рівняння (у лівій частині значення повинне бути більше). Не зрозуміло, чому автор прирівняв витрати нижче і вище за потоком від хвостосховища, лише на підставі усереднених значень рівня і швидкості потоку? В даному випадку їх не можна усереднювати по всій довжині потоку. Правильніше було б записати:

$$Q_{gw} \times C_3 = Q_2 \times C_2 + Q_{inf} \times L \times C_1 \quad (2)$$

Якщо відомі значення H_{aq} , k та I вище за потоком, то можна розрахувати Q_2 і вирішити рівняння більш коректно. За тих концентрацій хлору у воді, які містяться в хвостосховищі, витрати вище за потоком (Q_2) повинні бути меншими, ніж нижче за потоком і складати, згідно рівняння (2), близько 220 м²/рік, нижче за потоком 255,35 м²/рік, за коефіцієнту фільтрації 1,5 м/добу, а фільтраційні втрати із хвостосховища – 38 мм/рік, що досить близько до отриманих автором (19-47 мм/рік).

9) У таблиці 6 показники концентрації мають інші індекси, ніж в поясненні до рівняння. Так у рівнянні C_1 - концентрація хлорид-іона в хвостосховищі, а в таблиці - у підземних водах вище за потоком; C_2 в рівнянні - концентрація хлорид-іона вище за потоком підземних вод, а в таблиці - нижче за потоком; відповідно C_3 в першому випадку - концентрація нижче за потоком підземних вод, в другому - у тілі хвостосховища.

10) Наприкінці стор. 80 зазначено: «*Результуюче середнє* за 3 роки спостережень (2020-2023) інфільтраційне живлення безнапірного горизонту для умов проммайданчику ПХЗ в межах першої тераси оцінюється 190 – 300 мм/рік.» Наведений діапазон скоріше свідчить про межі мінливості інфільтраційного живлення *від мінімального до максимального значень*, а не про *результуюче середнє*, яке слід було представити як одне усереднене значення.

11) Щодо чинників від яких залежить інфільтраційне живлення (стор. 81), то за однакового складу зони аерації, інфільтраційне живлення в першу чергу істотно залежить від РГВ або потужності зони аерації, про що автор чомусь не згадує. Тобто, у випадках коли здобувач наводить значення інфільтраційного живлення, варто вказувати середнє за рік значення глибини рівня ґрунтових вод.

12) При тому, що автор обґрунтував гідрохімічним балансовим методом значення фільтраційних втрат із хвостосховища в межах 19-47 мм, він чомусь приймає для геофільтраційної моделі значення у 50 мм (стор. 109). При тому, що східно із графіком на рис. 18 зниження РГВ в техногенному горизонті хвостосховища за період 2013-2021 рр. призупинилось. Тобто значення фільтраційних втрат скоріше тяжіє до нижньої межі визначеного діапазону.

Тим не менш, виявлені недоліки не принижують достовірності та вагомості отриманих автором результатів і є важливими для висвітлення стану забруднення на одному з найнебезпечніших для довкілля об'єктів ядерного спадку в Україні.

ВИСНОВОК

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії ЗАНОЗА Богдана Юрійовича на тему «Аналіз геоміграційних процесів і оцінки впливу радіоактивного і хімічного забруднення підземних вод на уранових спадкових об'єктах на довкілля і населення» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для природничих наук. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6–9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12.01. 2022 № 44.

Здобувач ЗАНОЗ Богдан Юрійович заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії в галузі знань 10 «Природничі науки», за спеціальністю 103 – «Науки про Землю».

Офіційний опонент: головний науковий співробітник Українського гідрометеорологічного інституту, доктор геологічних наук, старший науковий співробітник



Олексій ШЕВЧЕНКО