

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Кобилінської Наталі Григорівни «Колоїдно-хімічні принципи створення сорбційних матеріалів для вилучення антропогенних забруднювачів об'єктів довкілля»** подану до захисту до спеціалізованої вченої ради Д 26.183.01 при Інституті колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України на здобуття наукового ступеня доктора хімічних наук, наук у галузі знань природничі науки, математика та статистика (ЕЗ Хімія) за спеціальностями 02.00.11 – колоїдна хімія та 21.06.01 – екологічна безпека

Актуальність обраної теми дисертації. Актуальність дисертаційної роботи зумовлена фундаментальною та прикладною значущістю вирішення проблем забруднення водних екосистем. Забруднення органічними та неорганічними сполуками, спричинене інтенсивною антропогенною діяльністю, є однією з найгостріших екологічних загроз сучасності. Основним джерелом поллютантів є промислові стічні води, що містять токсичні метали (у тому числі радіонукліди), фармацевтичні препарати, органічні барвники та ін. Особливу небезпеку становлять радіонукліди (такі як $^{234,235,238}\text{U}$, ^{137}Cs , ^{90}Sr), здатні до акумуляції в навколишньому середовищі з подальшими тривалими екологічними та медико-біологічними наслідками. Відтак, розробка методів ефективного вилучення цих компонентів є критично важливою для гарантування екологічної безпеки та збереження здоров'я населення.

Вагомим внеском автора дисертації у вирішення зазначених проблем є розробка інноваційних сорбційних матеріалів на основі принципів екологічно безпечного синтезу – технологіями «зеленої хімії». Створена методологічна база дозволяє проектувати гібридні сорбенти з керованими характеристиками, які забезпечують ефективно вилучення широкого спектра забруднювачів. Поєднання магнітних властивостей із високою пористістю матриць забезпечує не лише ефективність очищення, а й технологічність процесу розділення фаз. Подальший розвиток цього напрямку спрямований на оптимізацію структурно-сорбційних параметрів композитів, підвищення їхньої стабільності в агресивних середовищах та забезпечення високої регенераційної здатності для багаторазового застосування у реальних умовах.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження за темою дисертації були розпочаті у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка в межах наукових тем: «Супрамолекулярні ансамблі в розчині і на поверхні твердих матриць, квантові точки і люмінесцентні реагенти спрямованої дії в хімічному аналізі» (№ д/р 0118U001125); «Новітні оптичні, електрохімічні і супрамолекулярні наноструктуровані сенсорні системи для екоаналітичних та медикобіологічних цілей» (№ д/р 0116U002557) Робота була логічно продовжена у відділі аналітичної та радіохімії Інституту колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України в рамках тем, присвячених аналітичним системам для вилучення токсикантів: «Аналітичні системи для вилучення і концентрування токсичних компонентів з водних середовищ та розробка гібридних методів моніторингу їх якості» (№ д/р 0122U000150); «Поліфункціональні сорбенти та їх композити для видалення радіонуклідів та важких металів з різноманітних водних середовищ» (№ д/р 0123U101044); «Розробка методології аналізу і засобів контролю органічних і неорганічних мікрокомпонентів-забруднювачів водних систем» (№ д/р 0117U000015). Окремо слід відзначити виконання досліджень у межах низки міжнародних та вітчизняних проєктів, зокрема «Розробка фармацевтичної композиції біофлавоноїдів з флєботонічними та протизапальними властивостями» (№ д/р 0121U108090); Українсько-Індійський проєкт «Створення нових органо-неорганічних гібридних матеріалів як сорбентів для очищення стічних вод від іонів важких металів» (№ М/10-2020); FP7-PEOPLE-2010-IRSES № 269099 «Fabrication of particles with photo receptors: bio-analytical application such as controlled drug delivery»; FP7-PEOPLE-2009-IRSES «Sol-gel materials synthesis and characterization for optical sensing».



Таким чином, дисертація є результатом багаторічного системного дослідження, що проводилося протягом понад десяти років. Еволюція назв тем відображає логічний розвиток наукового пошуку — від вивчення фундаментальних закономірностей структуроутворення до вирішення конкретних прикладних завдань екологічної безпеки.

Наукова новизна отриманих результатів і їх значення. У межах представленого дисертаційного дослідження вперше:

Фундаментально обґрунтовано вплив умов синтезу, природи матриці та будови функціонального шару кремнеземів на їхні протолітичні та комплексоутворювальні властивості. Визначено критерії селективності сорбційного вилучення 3d- та 4f-іонів металів, що ґрунтуються на поєднанні механізмів комплексоутворення та іонного обміну. На прикладі фосфонових кислот виявлено ефект посилення кислотних та іонообмінних властивостей іммобілізованих груп при золь-гель синтезі впорядкованих мезопористих сорбентів.

Реалізовано системний підхід до аналізу умов синтезу та сорбційної здатності силікагелів, модифікованих сульфо-, аміно-, фосфоновими та ED3A-групами. Доведено їхню ефективність у процесах розділення та вилучення екотоксикантів (катионних чи аніонних форм 3d- та 4f-елементів, радіонуклідів, фармацевтичних препаратів) із водних об'єктів різного генезу.

Запропоновано концепцію використання моно- та полідисперсних наночастинок магнетиту та феритів, одержаних методами «зеленої хімії», як ефективних засобів для знезараження та моніторингу водних середовищ. Встановлено, що такі частинки характеризуються прецизійним контролем морфології та мінімальною схильністю до агрегації.

Розроблено дизайн магнітокерованих сорбентів зі структурою «ядро-оболонка», де багат шарове покриття магнетитового ядра кремнеземом (із низьким вмістом SiO₂) дозволило досягти рекордно високої адсорбційної ємності та тривалої стабільності порівняно з відомими аналогами.

Визначено оптимальне співвідношення магнетит/гідроталькіт у складі магнітних нанокомпозитів, що забезпечує збереження магнітних властивостей при низькому ступені агрегації. Виявлено структурний ефект збільшення міжплощинної відстані в композитах, синтезованих у присутності наночастинок магнетиту.

Встановлено механізми вилучення фармацевтичних препаратів: доведено, що для шаруватих подвійних гідроксидів (ШПГ) у карбонатній формі процес детермінований архітектурою бруситоподібних шарів та доступністю міжшарового простору, тоді як для мультифункціональних сорбентів на основі ШПГ домінують електростатичні взаємодії та зв'язування з поверхневими гідроксильними групами.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у докторській дисертації. Ретельний аналіз матеріалів дисертаційної роботи свідчить, що дослідження виконані на високому науковому рівні, що підтверджується:

1. Результати отримано із застосуванням комплексу сучасних високоточних фізико-хімічних методів аналізу (включно із спектральними, хроматографічними та структурними), що забезпечило всебічну ідентифікацію та підтвердження складу та будови одержаних нових сорбентів, а також механізмів їх взаємодії з сорбатами різного генезу.

2. Висновки ґрунтуються на глибокому аналізі експериментальних даних, їхній внутрішній узгодженості та коректному обговоренні у контексті сучасних теоретичних і методологічних уявлень колоїдної хімії, а одержані результати слугують науковим обґрунтуванням і фундаментальною засадою для розробки нових сорбційних матеріалів, призначених для захисту довкілля від шкідливих викидів.

3. Високий науковий рівень дисертаційної роботи забезпечений проходженням її основних результатів незалежної міжнародної експертизи (peer review), що підтверджено публікаціями у провідних світових наукових виданнях, які індексуються у базах Scopus та Web of Science.

4. Оприлюдненням та успішною апробацією ключових положень і висновків дисертації на низці всеукраїнських та міжнародних науково-практичних конференцій.

Усі наукові положення та висновки, сформульовані в дисертації, ґрунтуються на результатах комплексних експериментальних досліджень, логічно впливають із отриманих даних і є цілком достовірними.

Структура і зміст дисертації. Представлена у форматі наукової доповіді дисертація Н.Г. Кобилінської є результатом комплексного узагальнення вагомого доробку автора, присвяченого фундаментальним закономірностям колоїдної хімії та механізмам сорбції в контексті розв'язання екологічних викликів. Текст побудовано за чіткою ієрархічною логікою, що включає детальний аналіз базових характеристик сорбційних матеріалів до конструювання вискоелективних поліфункціональних наноконкомпозитів для вилучення екотоксикантів органічного та неорганічного походження. Дисертація складається з анотацій (українською та англійською мовами), вступу, шести основних розділів, підсумкових висновків та супровідних додатків, що містять систематизований перелік публікацій і матеріалів, які підтверджують широку апробацію отриманих наукових здобутків.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, визначено мету та завдання дослідження, а також наведено розширений перелік публікацій, що підтверджують високу апробацію результатів.

У **розділі 1** детально досліджено закономірності сорбції радіонуклідів та органічних екотоксикантів на шаруватих подвійних гідроксидах різної кристалічної структури та складу, що дозволило встановити фундаментальні механізми їхньої взаємодії на міжфазній межі.

У **розділі 2** розроблено методологію створення магнітокерованих наноконкомпозитів на основі ШППГ, де показано вплив магнітної складової на ефективність вилучення забруднювачів та радіонуклідів, зокрема шляхом функціоналізації поверхні органічними комплексонами.

У **розділі 3** проведено аналіз сорбційних процесів на функціоналізованих високодисперсних кремнеземах із контрольованим дизайном поверхні, що забезпечило можливість селективного розділення багатоконпонентних сумішей та визначення слідових кількостей органічних сполук, в т.ч. екотоксикантів.

У **розділі 4** представлено результати розробки магнітних наносистем типу «ядро-оболонка» на основі діоксиду кремнію та Fe_3O_4 , де встановлено кореляції між їхніми структурно-сорбційними характеристиками та ефективністю очищення водних середовищ від катіонів перехідних металів.

У **розділі 5** обґрунтовано колоїдно-хімічні аспекти керування процесами структуроутворення та стабілізації наночастинок, одержаних шляхом «зеленого» синтезу, та вивчено їхню активність у водному дисперсійному середовищі.

У **розділі 6** розкрито фізико-хімічні основи утримання органічних екотоксикантів на вуглецевих матеріалах із різною будовою пор як у рідкій, так і в газовій фазах, що демонструє універсальність запропонованих сорбційних рішень.

Роботу завершено загальними висновками, які підтверджують наукову новизну та практичну цінність дисертації.

Дисертацію оформлено згідно з встановленими вимогами затвердженими Наказом Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій». Дисертаційна праця характеризується значним обсягом (694 сторінки) та високим рівнем візуалізації результатів (420 рисунків і 155 таблиць), що красномовно свідчить про масштабність опрацьованого експериментального матеріалу та глибину проведеної систематизації.

Таким чином, за обсягом та якістю досліджень дана дисертаційна робота відповідає рівню докторської дисертації.

Повнота викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації. Основний зміст дисертації, поданої у вигляді наукової доповіді, повною мірою відображений у 59 друкованих працях, ядро яких складають 35 повнотекстових статей. Високий рівень міжнародного визнання наукових результатів здобувача підтверджується оприлюдненням 32

робіт у провідних світових виданнях, що індексуються міжнародною наукометричною базою Scopus (зокрема у журналах, віднесених до квантилів Q1 та Q2 за класифікацією SCImago Journal Rank). Це свідчить про беззаперечну апробацію отриманих даних на світовому рівні та їхню високу наукову цінність. Увесь масив публікацій має чітку тематичну ієрархію та об'єднаний спільною логікою, що підкріплюється ґрунтовними аналітичними коментарями автора до кожного розділу.

Відсутність (наявність) академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації.

Представлені у дисертації наукові висновки та експериментальні дані відзначаються високим рівнем об'єктивності та достовірності. Аналіз наукової доповіді засвідчив неухильне дотримання здобувачем фундаментальних засад академічної доброчесності. Під час експертного розгляду роботи не було виявлено жодних проявів фальсифікації даних, фабрикації результатів чи інших відхилень від норм наукової етики. Усі посилання на праці інших дослідників та власні попередні публікації оформлені згідно з чинними вимогами.

Дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертації. Загалом дисертаційна праця Кобилінської Н.Г. представляє собою ґрунтовне наукове дослідження з чіткою окресленим практичним спрямуванням. Позитивно оцінюючи роботу, слід водночас зазначити, що під час ознайомлення з її змістом виникла низка дискусійних питань і зауважень, а саме:

1) У першому розділі розглянуто сорбційні властивості шаруватих подвійних гідроксидів щодо радіонуклідів та органічних екоотоксикантів. Не зовсім зрозумілими є критерії вибору металів, які лежать в основі цих гідроксидів. Досить детально розглядаються сполуки на основі заліза, магнію та нікелю, однак є багато інших можливих комбінацій, наприклад нікелю та кобальту та інші.

2) При розгляді бінарних наноконкомпозити на основі шаруватих подвійних гідроксидів та наночастинок магнетиту (другий розділ роботи) в рефераті констатується лише, що зазначені композиції отримували *in situ* вирощуванням подвійних гідроксидів на наночастинках. На мою думку це питання слід було розглянути більш детально.

3) Аналізуючи механізми сорбції іонів UO_2^{2+} композитами (розділ 2), як один з основних механізмів пропонується принцип утворення міцних поверхневих залізовмісних комплексів. Як доводився такий механізм і чи можлива зворотня десорбція у випадку накопичення вказаного радіонукліду.

4) Четвертий розділ дисертації розглядає створення багатошарових сорбентів, побудованих за принципами "ядро-оболонка", що можуть мати різностороннє практичне застосування. З цієї точки зору важливою є оціночна собівартість таких матеріалів для розуміння перспектив практичного впровадження.

5) Питання щодо керування процесами структуроутворення і стабілізації дисперсних систем на основі наночасток Ag, Pd, Au необхідно було б більш детально розкрити в рефераті роботи (розділ 5).

6) У розділі п'ять констатується використання зразками магнетиту з кубічною морфологією для ефективного сорбційного вилучення аніонів AsO_3^{3-} та AsO_4^{3-} . Якими є механізми такого вилучення? Які аніони чи катіони у цьому випадку можуть заважати вилученню?

7) Розділ 6 розглядає особливості процесів сорбції органічних забруднювачів різними формами активованого вугілля, виготовленого на основі промислових сільськогосподарських відходів. Зокрема, показано, що для створених сферичних вуглецевих сорбентів міліметрового розміру активним при сорбції у розчинах є лише поверхневий шар, а при вилученні газоподібних сорбатів працює весь об'єм зерна сорбенту. Які методи було задіяно для виявлення цих особливостей?

Загальний висновок та оцінка дисертації. Дисертаційна робота Кобилінської Наталії Григорівни «Колоїдно-хімічні принципи створення сорбційних матеріалів для вилучення антропогенних забруднювачів об'єктів довкілля» є завершеною науковою працею, яку здобувач виконала самостійно на актуальну для нашої держави тематику. Зміст реферату

повною мірою відображає основні положення дисертації. Наведені зауваження мають переважно дискусійний характер і не змінюють загальної позитивної оцінки роботи.

Вважаю, що за актуальністю, рівнем наукової новизни, обсягом виконаних досліджень, достовірністю одержаних висновків та практичною цінністю дисертаційна робота Кобилінської Наталі Григорівни «Колоїдно-хімічні принципи створення сорбційних матеріалів для вилучення антропогенних забруднювачів об'єктів довкілля» відповідає спеціальностями 02.00.11 – колоїдна хімія та 21.06.01 – екологічна безпека, вимогам п. 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17.11.2021 року № 1197 із змінами, внесеними згідно з Постановами КМ, № 502 від 19.05.2023, та № 507 від 03.05.2024 та № 928 від 30.07.2025, які висуваються до докторських дисертацій, а її автор, **Кобилінська Наталя Григорівна**, заслуговує на присудження ступеня доктора хімічних наук за спеціальностями 02.00.11 – колоїдна хімія та 21.06.01 – екологічна безпека.

Офіційний опонент:

Провідний науковий співробітник,
відділу фізико-хімічної геомеханіки
Інституту біолоїдної хімії
ім. Ф.Д. Овчаренка НАН України
д.хім. наук, с.н.с.

Ігор ЗАТОВСЬКИЙ

Підпис Затовського І.В. засвідчую:
Вчений секретар Інституту біолоїдної хімії
ім. Ф.Д. Овчаренка НАН України
06.01.2026 р



Олена ВОЙТЕНКО