

## ВІДГУК

офіційного опонента – Романової Ірини Вікторівни докторки хімічних наук,  
завідувачки відділу сорбції і тонкого неорганічного синтезу,  
Інституту сорбції та проблем ендоекології НАН України  
**на дисертацію 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  
за спеціальностями 02.00.11 – колоїдна хімія та 21.06.01 – екологічна безпека

**Актуальність обраної теми дисертації.** Головну роль у розробці інноваційних методів водоочищення відіграють колоїдно-хімічні явища, що перебігають у гетерогенних багатокомпонентних системах. Сорбційні процеси сьогодні є незамінним інструментом як для реалізації природоохоронних заходів, так і для прецизійного аналітичного концентрування та розділення речовин. Разом із тим, існуючий арсенал сорбційних матеріалів має певні функціональні обмеження, що перешкоджає досягненню високої селективності та якісного вилучення мікрокількостей токсикантів із об'єктів зі складним компонентним складом. Альтернативою широко застосованим іонообмінним смолам у процесах ефективного вилучення екотоксикантів є термо/хімічно стабільні в широкому діапазоні рН неорганічні сорбенти з розвинутою площею поверхні та високими масообмінними характеристиками. Саме тому, аналіз існуючих і накопичення нових експериментальних даних щодо синтезу високоефективних матеріалів, дослідження їх фізико-хімічних властивостей і можливостей їх успішного використання є актуальним для сьогодення завданням. Важливим також є встановлення взаємозв'язку між умовами синтезу, складом, поруватою структурою та сорбційними властивостями одержаних вискодисперсних сорбентів по відношенню до катіонних і аніонних форм неорганічних і органічних токсикантів.

Серед новітніх напрямків удосконалення сорбційних технологій на окрему увагу заслуговує дизайн вискодисперсних мультифункціоналізованих сорбентів на основі шаруватих подвійних і потрійних гідроксидів, кремнеземів, наноструктурованих високопоруватих матеріалів, активованого вугілля. Дані матеріали після застосування методів регулювання поруватості та модифікування поверхні можуть забезпечити високу сорбційну ефективність і селективність до конкретних класів екотоксикантів, за рахунок створення відповідних комплексоутворюючих центрів сорбції. Підвищений практичний інтерес викликають магнітокеровані нанокомпозитні сорбенти, які поєднують високу сорбційну ємність із унікальними магнітними властивостями, що може забезпечити просту та ефективну сепарацію відпрацьованого адсорбента після сорбції, та робить їх надзвичайно привабливими для селективного вилучення та концентрування широкого класу сполук методом твердофазної екстракції (МТЕ). Однак, для практичного використання у МТЕ необхідно вдосконалити такі критичні аспекти, як висока агломерація, магнітна сприйнятливність в поєднанні з низькою гідролітичною стабільністю в реальних умовах застосування, а також розробка методик ефективного елюювання аналіту з можливістю подальшого кількісного визначення. Це обумовлює необхідність проведення досліджень, спрямованих на комплексну оптимізацію структурно-сорбційних, магнітних характеристик даних матеріалів і підвищення їх стійкості з метою багаторазового використання. Отже, розробка наукових засад спрямованого синтезу сорбентів із регульованими властивостями є надзвичайно актуальним завданням, що дозволяє встановити ключові колоїдно-хімічні закономірності для захисту довкілля. Впровадження таких матеріалів забезпечить створення високоефективних технологій очищення води та надійних систем моніторингу, що є важливим для гарантування екологічної безпеки.



**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота є частиною наукових досліджень, що виконувалися в межах ряду державних програм, науково-дослідних тем та міжнародних проектів науково-дослідних тем Інституту колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАНУ («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); Київського національного університету імені Тараса Шевченка: «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)) та Міжнародних та вітчизняних наукових проектів («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»).

**Наукова новизна отриманих результатів і їх значення.** У межах дисертаційного дослідження вперше закладено фундаментальні засади спрямованого синтезу функціоналізованих сорбентів, що дозволило встановити взаємозв'язок між архітектурою кремнеземного шару та протолітичними й комплексоутворювальними властивостями матеріалів, а також визначити критерії селективного вилучення *3d*- та *4f*-іонів металів за механізмами комплексоутворення та іонного обміну. Шляхом системного аналізу сорбційних характеристик модифікованих силікагелів та виявленого ефекту посилення реакційної здатності іммобілізованих фосфонових груп обґрунтовано методологію концентрування широкого спектра екотоксикантів зі складних природних систем; запропоновано інноваційну концепцію «зеленого» синтезу магнітних наночастинок і науково доведено конструкційні переваги багатошарових структур «ядро–оболонка» у забезпеченні високої стабільності та адсорбційної ємності композитів. Наукову новизну роботи доповнено розробкою синтезу магнітних шаруватих наноконкомпозитів на основі гідроксидів  $Mg^{2+}$  та  $Fe^{3+}$ , а також розкриттям природи утримування фармацевтичних препаратів шаруватими подвійними гідроксидами, де домінуюча роль структурних особливостей бруситоподібних шарів та електростатичних взаємодій над традиційним іонообмінним механізмом дозволяє суттєво розширити сучасні уявлення про процеси сорбції в гетерогенних середовищах.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у докторській дисертації.** Ретельний аналіз матеріалів дисертаційної роботи свідчить, що дослідження виконані на високому науковому рівні із застосуванням сучасних інструментальних і фізико-хімічних методів, а також новітніх підходів до детектування сорбатів, зокрема: спектрофотометрії в УФ та видимій областях, електронної спектроскопії дифузійного відбиття, флуоресцентного та атомно-абсорбційного аналізу, оптичної емісійної та мас-спектрометрії з індуктивно-зв'язаною плазмою (ІЗП-ОЕС та ІЗП-МС), газової та високоефективної рідинної хроматографії.

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.** Дисертаційна робота Н.Г. Кобилінської, представлена у формі наукової доповіді, є логічним поєднанням значного масиву публікацій, що охоплюють фундаментальні аспекти колоїдної хімії та сорбційні процеси в екологічній безпеці. Автор виходить за межі класичного опису матеріалів, пропонуючи цілісну

концепцію створення функціоналізованих сорбційних матеріалів для екологічного моніторингу та захисту довкілля.

У *анотації* автором відображено актуальність та мету роботи, а також коротко наведено основні результати роботи. Здобувачем обґрунтовано перехід від традиційних сорбентів до впорядкованих систем, де вирішальну роль відіграє спрямований дизайн поверхневого шару сорбентів. Наведено ключові слова.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми та сформульовано концептуальний апарат, який чітко окреслює науковий простір дослідження. Висвітлено зв'язок роботи з державними науковими програмами, планами та теми Інституту. Автором визначено мету й конкретизовано завдання, спрямовані на її досягнення. Представлено вичерпний комплекс сучасних фізико-хімічних методів аналізу, що гарантують високу достовірність результатів та аргументованість висновків. Особливу увагу приділено опису наукової новизни, практичного значення отриманих результатів та відомостям про їх широку апробацію.

Виклад основного матеріалу дисертації структуровано за шістьма тематичними розділами. Розробці та модифікації шаруватих подвійних гідроксидів та їх магнітних нанокompatитів присвячено *перший та другий* розділи. Значна частина роботи присвячена керуванню архітектурою міжшарового простору шаруватих подвійних гідроксидів Ni, Fe, Mg, Fe та Zn-Al. Особливої уваги заслуговує порівняння ефективності методів співсаджання та гідротермального синтезу при розробці сорбентів для вилучення радіонуклідів та органічних забруднювачів фармацевтичного походження. Особливо варто відзначити запропонований підхід до створення магніточутливих композитів, у яких магнітна складова не лише забезпечує ефективну сепарацію, а й корелює із процесами формування структури гідроталькітоподібної фази. Інтеркаляція комплексоутворюючих груп (етилендіамін-тетраацетатних та цитратних груп) у шарувату матрицю є основним чинником забезпечення селективності сорбційних матеріалів до катіонів металів.

У *третьому* розділі представлено концепцію дизайну гібридних функціоналізованих орґано-неорґанічних сорбентів на основі діоксиду кремнію, одержаних шляхом одно- та багатостадійного синтезу. Обґрунтовано вплив природи матриці, а також складу й архітектури функціонального шару кремнеземів різного генезу на їхні протолітичні та комплексоутворювальні властивості. Визначено критерії селективності сорбційного вилучення 3d- та 4f-іонів металів, що базуються на синергії механізмів комплексоутворення та іонного обміну. На прикладі використання фосфонових кислот виявлено ефект посилення кислотних та іонообмінних властивостей іммобілізованих груп, що виникає в умовах зольгель синтезу впорядкованих мезопоруватих сорбентів.

У *розділі 4* висвітлено напрям створення магнітокерованих нанокompatитів на основі магнетиту та діоксиду кремнію, зокрема одержаних за технологією «ядро-оболонка». Зокрема, автором встановлено, що нанесення багатшарового кремнеземного покриття на магнітне ядро забезпечує отримання слабко агломерованих нанокompatитів. Проведено модифікування поверхні етилендіамінтриацетатними групами, що дозволило одержати сорбенти з високими значеннями ємності та гідролітичної стійкості у широкому діапазоні рН, встановлено, що одержані матеріали зберігають ефективність протягом щонайменше п'яти циклів регенерації. На основі проведених досліджень запропоновано методіку магнітної твердофазної екстракції іонів перехідних металів із природних вод, що суттєво підвищило чутливість та концентраційні межі їх визначення методом ІЗП-ОЕС.

У *п'ятому розділі* запропоновано методи нанесення та стабілізації на поверхні наночастинок Ag, Pd, Au, а також феритів зі структурою шпінелі, зокрема із застосуванням принципів «зеленої хімії». Це відкриває нові можливості для одержання матеріалів із контрольованою морфологією, низькою схильністю до агломерації та заданим ступенем дисперсності.

У *шостому розділі* проведено вивчення процесів сорбції на вуглецевих матрицях у контексті їхніх структурно-адсорбційних характеристик. У роботі проведено комплексне дослідження властивостей непористих біочарів (біовугілля), есідчарів та мезопористих вуглецевих матеріалів (в т.ч. СМК-1 та СМК-3). Встановлено закономірності утримування

наночасток Pd, а також досліджено процеси вилучення фармацевтичних препаратів і органічних барвників. Отримані дані дозволили автору проаналізувати сорбційні явища, враховуючи як дисперсність, так і специфіку поверхні сорбент.

За обсягом та якістю досліджень дана дисертаційна робота відповідає рівню докторської 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».

**Повнота викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації.** Дисертація, подана у вигляді наукової доповіді, базується на 59 наукових публікаціях, серед яких — 35 наукових статей. З них 32 статті опубліковані у провідних міжнародних рейтингових журналах, що віднесені до кватилів Q1 (19 статей), Q2 (7 статей) та Q3 (6 статей) згідно з класифікацією SCImago Journal and Country Rank; інші праці оприлюднені у наукових фахових виданнях України. До загального доробку також включено тези 24 доповідей на міжнародних та вітчизняних конференціях.

Весь масив публікацій систематизовано за тематичними розділами, які об'єднані єдиною логічною структурою та доповнені аналітичними коментарями здобувача.

**Відсутність (наявність) академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації.** Наукові положення та результати, отримані здобувачем, характеризуються високим ступенем достовірності та об'єктивності. Експертна перевірка дисертації, що представлена у формі наукової доповіді, підтвердила повне дотримання принципів академічної доброчесності. У роботі не виявлено ознак фабрикації, фальсифікації чи інших порушень наукової етики стосовно результатів, що становлять її основний зміст.

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

1. Дисертаційна робота присвячена синтезу і дослідженням властивостей перспективних для використання у водоочисних технологіях матеріалам. Наскільки синтезовані Вами сорбенти є конкурентоздатними з широко вживаними матеріалами, в тому числі по собівартості їх одержання. Чи планується підготовка патентів на винахід або корисну модель, якщо да, то на який метод або матеріал.
2. Розділ 1 включає дослідження властивостей шаруватих подвійних гідроксидів, в тому числі вплив співвідношення їх компонентів на основні кристалографічні параметри. Як ці параметри впливають на сорбційні властивості матеріалів?
3. В таблиці 2 (Розділ 1) наведено розраховані з використанням експериментальних даних основні константи рівнянь Фрейндліха та Ленгмюра. Наприклад, для матеріалу  $Mg_4Fe-LDHs$  в таблиці є значення  $q_{\infty}=0.46$  мг/г. Нижче в тексті сказано, що максимальна експериментальна сорбційна ємність для цього зразку складає 158,84 мг/г. Як це можна пояснити?
4. В чому, як Ви вважаєте основний позитивний вплив магнітних допантів на сорбційні властивості композитів (Розділ 2).
5. В якості механізму сорбції у випадку композитних матеріалів (Розділ 2) Ви пропонуєте поєднання «електростатичних та комплексоутворюючих процесів, без помітних реакцій іонного обміну». Які фізико-хімічні методи були використані для доказів запропонованого механізму.
6. Розділ 3 присвячено дослідженню властивостей високодисперсних кремнеземів, в тому числі залежність ступеню вилучення іонів важких металів від рН (Рис.7). Зокрема, найбільший ступінь вилучення іонів заліза зафіксовано у діапазоні рН=1-2, в якому велика вірогідність утворення осаду гідроксиду заліза. Який механізм сорбції Ви пропонуєте в цьому випадку?

7. У Розділі 4 представлено дані щодо селективності вилучення іонів  $\text{Eu}^{3+}$  магнітними нанокompозитами з різною функціоналізацією поверхні в умовах конкурентної сорбції. Чому саме ці іони (Ca, Zn, Cu, Tb) обрано для досліджень? Який фактор є визначним для одержання високоселективного сорбенту в цьому випадку.
8. У представленій Вами роботі досліджувалась сорбція екотоксикантів різної природи – катіонних та аніонних форм неорганічних забруднювачів, фармацевтичних препаратів, тощо. Могли б Ви узагальнити, які з Ваших матеріалів найбільш ефективні у кожному з випадків.
9. Робота містить незначну кількість стилістичних і граматичних недоліків, а також невдало оформлених малюнків, немає пояснення деяких абревіатур, що ускладнює сприйняття матеріалу.

**Загальний висновок та оцінка дисертації.** Дисертаційна робота Кобилінської Наталі 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:

Зав. відділу сорбції і тонкого неорганічного синтезу,  
Інституту сорбції та  
проблем ендоекології НАН України  
д. хім. наук,

Підпис Романової І.В. засвідчують  
Вчений секретар Інституту сорбції та  
проблем ендоекології НАН України  
к. хім. наук,

07.01.2026 р



Ірина РОМАНОВА

Світлана МЕЛЕШЕВИЧ