

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

На дисертацію БАЛАКІНОЇ МАРГАРИТИ МИКОЛАЇВНИ
«**Фізико-хімічні основи знешкодження фільтратів полігонів твердих побутових відходів електрохімічними та мембранними методами**»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора хімічних наук
за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека

Дисертаційна робота Балакіної М.М. присвячена створенню наукових основ знешкодження та переробки багатокомпонентних токсичних вод полігонів захоронення твердих побутових відходів (ТПВ) до нормативних показників з використанням комплексу фізико-хімічних і електрохімічних процесів, які спрямовані на зниження ризику забруднення ґрунтових і поверхневих вод, та їх реалізації.

Актуальність дисертаційної роботи пов'язана із вирішенням екологічної проблеми сучасності – переробкою відходів життєдіяльності людини, що ускладнюється антропологічним навантаженням і появою нових матеріалів, природне розкладання яких може тривати сотні років. На сьогоднішній день планета Земля перебуває в режимі смітцевої катастрофи: об'єм світових полігонів і звалищ росте із швидкістю двох трильйонів тонн на рік. Зокрема, на території України щорічно утворюється близько 50 млн.м³ побутових відходів, серед яких захороненню на полігонах підлягає 94,4 %, інші 2,4 % спалюють, а 3,09 % – переробляють. В цілому полігони ТПВ належать до об'єктів високого екологічного ризику внаслідок утворення в процесі їх експлуатації фільтратів – екологічно небезпечних висококонцентрованих стічних вод.

Одним із головних чинників, який визначає хімічний склад фільтратів, є етап життєвого циклу полігону, серед яких виділяють «молодий», «старий» і стабілізований. «Молодий» фільтрат, який, зазвичай, переробляють біологічними методами, утворюється впродовж 3–10 років внаслідок перебігу гідролізу та окиснення органічних сполук з утворенням кислот під впливом аеробних і анаеробних біологічних процесів в «тілі» полігону. Утворення «старого» фільтрату починається приблизно через 10 років, коли відбувається ферментативне розкладання попередньо утворених кислот, поступове зменшення вмісту органічної складової та підвищення кількості важко окислювальних сполук. Стабілізація біохімічних процесів починається через 30–40 років від початку складування ТПВ. Фільтрат містить високу концентрацію мінеральних і важко окиснювальних сполук. Стабільна фаза триває до 100 років. Іншим визначальним для складу фільтратів чинником є морфологія відходів, які містять до ста найменувань токсичних сполук. Проникнення в ґрунтові води фільтратів полігонів призводить до поступового їх заміщення водами антропогенного походження і необоротної зміни макро- та мікрокомпонентного складу природних вод. Забруднення розповсюджується на значні території, що небезпечно впливає на навколишнє середовище та людину. В зв'язку з чим однією з невирішених екологічних і соціальних проблем урбанізованих територій є зниження негативного впливу фільтратів полігонів ТПВ на об'єкти гідросфери. Вирішення проблеми екологічної безпеки «старих» і стабілізованих полігонів ТПВ пов'язано із створенням безстічних або

маловідходних технологій за рахунок впровадження комплексу фізико-хімічних і хімічних методів їх очищення та концентрування. Наявність суттєвих відмінностей у складі фільтратів різних полігонів ТПВ при проведенні комплексу досліджень вимагає індивідуального підходу в кожному окремому випадку.

За своєю спрямованістю дисертаційна робота Балакіної М.М. відповідає Закону України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року», в якому серед стратегічних цілей розділу «Поліпшення екологічної ситуації та підвищення рівня екологічної безпеки» визначено «забезпечення зберігання побутових відходів на спеціалізованих та екологічно безпечних полігонах» і «запровадження новітніх технологій утилізації твердих побутових відходів». Про актуальність роботи свідчить тематика фундаментальних і прикладних досліджень і комплексна програма Національної академії наук України «Новітні медико-біологічні проблеми та оточуюче середовище людини» в рамках яких було проведено дослідження, а також публікації у вітчизняних та закордонних виданнях та наукові заходи, на яких доповідалися матеріали роботи.

Для створення наукових основ знешкодження та переробки токсичних багатокомпонентних «старих» і стабілізованих фільтратів полігонів захоронення твердих побутових відходів до нормативних показників на основі раціонального поєднання комплексу електрохімічних і мембранних процесів було поставлено ряд складних задач, які вирішені в роботі при виконанні розширених експериментальних і теоретичних досліджень.

Всебічний аналіз сучасних наукових і технічних поглядів на умови формування фільтраційних вод полігонів твердих побутових відходів, розмаїття їх складу та численних способів знешкодження дав змогу автору дисертаційної роботи визначити напрям наукових досліджень, їх об'єм і шляхи вирішення поставлених задач.

В літературному огляді роботи розглянуто так званий «життєвий цикл полігону», розвиток якого, після закладки сміття, проходить спочатку аеробну стадію, а після швидкого вичерпання кисню в товщі полігону – анаеробну стадію. В ході кислотогенної, або неметаноутворюючої фази починається гідролітичний розклад біополімерів під впливом кислотоутворюючих бактерій, а далі починається стадія метаногенезу, за якої метаноутворюючі мікроорганізми здійснюють подальше розкладання проміжних продуктів життєдіяльності кислотоутворюючих бактерій. В активній, або нестабільній фазі відбувається ферментативне розкладання кислот, яке супроводжується значним виділенням газів, а характерною ознакою стабільної фази є сталість вмісту метану, що виділяється в пробах біогазу в кількості до 60 %. Після закриття полігону відбувається доопрацювання залишкового потенціалу речовини та енергії, накопичених у період активної фази. Отже, впродовж всього життєвого циклу полігону в його надрах утворюється фільтрат, який містить у своєму складі різноманітні продукти біохімічних і хімічних реакцій, які вплинуть на всі складові природного середовища, несучи загрозу здоров'ю людини і тварин. Водночас, на сьогодні, з точки зору економічних переваг, найбільш поширеним шляхом утилізації ТПВ є створення полігонів для їх

захоронення. В огляді проведено всебічний аналіз існуючих методів і технологій переробки фільтратів полігонів ТВП. Зокрема, висвітлено особливості використання рециркуляції та сумісної обробки фільтратів і міських стічних вод. Показано доцільність біологічної обробки фільтратів полігонів ТПВ, представлено найбільш розповсюджені фізичні та хімічні методи їх обробки, особливої уваги приділено мембранній фільтрації, розкрито переваги впровадження гібридних схем очищення фільтратів полігонів ТПВ. При цьому автор звертає увагу на те, що формулювання загальних рекомендацій стосовно знешкодження фільтратів полігонів ТПВ потребує індивідуального підходу до кожного з них внаслідок особливостей хімічного складу, наявності токсичних і біорезистентних компонентів та відмінності від промислових і муніципальних стічних вод. Останніми роками у світовій практиці очищення фільтратів полігонів ТПВ найперспективнішою вважається зворотноосмотична технологія, яка забезпечує одночасне видалення органічних і неорганічних компонентів, бактерій, вірусів та інших забруднень. Проте проведений аналіз літературних даних показав, що багаторівневі комплексні схеми демонструють більшу ефективність порівняно із одноступеневими, досягаючи максимального ефекту очищення та нанесення мінімальної шкоди елементам екосистем в зоні знаходження полігонів.

Огляд логічно структурований та всебічно розкриває проблематику дослідження. Зокрема, наведено дані впливу складових фільтратів (хімічних елементів і сполук) на здоров'я людини, проведено порівняння закордонного і вітчизняного досвіду знешкодження фільтратів ТПВ. Водночас, звертає на себе увагу недостатня відредагованість тексту і наявність граматичних помилок.

В Розділі 2 наведено характеристику двох полігонів ТПВ, розташованих в Обухівському районі Київської області (Полігон ТПВ № 5) і на території селища Пирогове в Голосіївському районі м. Києва (Полігон ТПВ № 1). Для проведення домембранної обробки фільтратів полігонів ТПВ було вибрано сорбцію на природних зразках алюмосилікатів; окиснювання з використанням діоксиду мангану, пероксиду водню і гіпохлориту кальцію. Експерименти з прямим озонуванням здійснювали в озонаторі OZY-6 оздобленому концентратором кисню OXY-6. Озонування проводили без опромінення та з УФ-опромінюванням. Визначення ефективності баромембранних методів у попередній підготовці проводили на експериментальній баромембранній установці фронтального фільтрування. Наведено характеристики мікро-, ультра- і нанофільтраційних мембран. В Розділі 2 надано методики очищення фільтрату полігону ТПВ електро- та гальванокоагуляцією. В роботі наведено ряд методик щодо визначення ефективності окиснення нітрит-іонів, заряду мембрани, ефективності дії фосфатного регенераційного розчину та осадження струвіту. Доочищення попередньо обробленого фільтрату полігонів ТПВ запропоновано проводити із застосуванням електродіалізного процесу. В Розділі 2 представлені методики визначення хімічного складу фільтрату полігонів ТПВ, зокрема, вмісту полярних обмежено-летких органічних сполук хроматографічними методами; хімічного споживання кисню (ХСК); кольоровості; концентрації катіонів натрію, калію, кальцію, магнію, феруму та амонію; аніонів сульфату, хлориду, фториду, нітрату, нітриту, фосфату;

водневого показника. Достовірність одержаних експериментальних даних оцінювали за допомогою статистичних методів обробки результатів, інтервал довіри визначали згідно критерію Стьюдента.

Слід зазначити, що при організації та проведенні експериментальних досліджень процесів знешкодження фільтратів ТПВ було застосовано розробки, виконані в Інституті колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України за участі дисертанта, що підтверджено 8 патентами України. Досліди з електродіалізного знесолення-концентрування здійснювали з використанням лабораторного та дослідно-промислового зразків електродіалізатора-концентратора (ЕДК) прокладочного типу удосконаленої конструкції, яка також була розроблена за участю дисертанта в ІКХХВ ім. А.В. Думанського НАН України. В той же час, із поданого матеріалу незрозуміло, яким чином визначали вихідний склад фільтрату полігонів, чи є він сталим для кожного з них. Вірогідно, хімічний склад фільтрату варіює в межах «від» – «до», що варто було б окреслити. При розгляді методик хімічного аналізу не вказано яким чином здійснювали нейтралізацію дії «заважаючих» речовин і компонентів. Наприклад, використання сульфосаліцилату натрію або сульфасаліцилової кислоти було запропоновано для визначення вмісту феруму та аніонів нітрату, але відомо, що в кислому середовищі ці сполуки надають забарвлення розчинам, що містять як $Fe(III)$, так і NO_3^- . Також не надано інформації стосовно визначення складу продуктів електро- та гальванокоагуляційного процесів, що було б не зайвим при подальшому їх використанні як вторинної сировини. Водночас, заплановане в розділі дослідження досить об'ємне, носить комплексний характер і дає змогу всебічно контролювати ефективність технологічних схем знешкодження фільтратів ТПВ.

Розділ 3 дисертаційної роботи присвячений домембранній обробці фільтратів. Серед найрозповсюдженіших методів знесолення води визначено дистиляцію, іонний обмін, зворотний осмос і електродіаліз. Тобто мова йде про підготовку розчинів для подальшої переробки мембранними методами знесолення води – зворотним осмосом (ЗО) і електродіалізом (ЕД). В розділі доведено доцільність проведення домембранної підготовки на прикладі експлуатації мембранної установки компанії PALL RONEM на Київському полігоні ТПВ № 5. Методами вискоефективної рідинної хроматографії та хромато-мас-спектроскопії були ідентифіковані обмежено леткі сполуки, що входять до складу фільтрату: піперидин, гідразин, морфолін і сполуки їх заміщення, а також карбонові кислоти й їх ефіри. Більшу частину полютантів (~ 64%) складають меланоїдини молекулярної маси від 1 000 до 100 000.

Для видалення зазначених органічних речовин в дисертаційній роботі були випробувані методи окиснення пероксидом водню без використання та при використанні УФ-опромінення; обробку гіпохлоритом кальцію і діоксидом мангану; сорбцію на монтморилоніті, кліноптилоліті та активованому вугіллі; мікро-, ультра- та нанофільтрацію, а також електро- і гальванокоагуляцію, які показали найбільшу ефективність у порівнянні з іншими методами. Були визначені оптимальні умови використання ряду коагулянтів: дігідроксосульфат алюмінію, сульфат алюмінію, сульфат заліза, оксид кальцію, при цьому найвищий ступінь очищення (за ХСК для полігону ТПВ № 5 – 49,0 і для

полігону № 1 – 61,7%) було досягнуто з використанням дігидросульфату алюмінію. Електрокоагуляційна обробка з використанням сталевих електродів при густині струму 5 А/дм^2 і вихідному значенні рН 5,0 протягом 10 хв дозволила знизити ХСК фільтрату полігону ТПВ № 5 на 62,0 %, фільтрату полігону ТПВ № 1 – на 90,1 %. Крім того, вона дала можливість знизити жорсткість фільтратів, вміст аніонів та амонієвмісних сполук і практично повністю видалити іони важких і кольорових металів.

Вперше для очищення фільтратів полігонів ТПВ було застосовано метод гальванокоагуляції при використанні гальванопари залізо/кокс в поєднанні з каталітичним окисненням. Пробна обробка фільтрату полігону ТПВ № 5 коагуляцією дала змогу досягнути ступінь очищення за ХСК 37,2 %, а гальванокоагуляцію – 79,8 %. В останньому випадку процес знешкодження супроводжувався видаленням сполук амонію та зниженням загального солевмісту. Одержані результати захищені патентами України. Запропоновано варіант комплексного очищення фільтрату полігонів ТПВ з використанням вузла гальванокоагуляції, на який також отриманий патент України. Таким чином, було отримано задовільні результати щодо розкладання органічних сполук та зниження загального солевмісту фільтратів, тобто проведено попередню підготовку для подальшого впровадження мембранних методів.

Разом з тим, наведені результати викликають ряд питань, які стосуються впливу складових техногенних розчинів, в нашому випадку фільтратів ТПВ, на електродні процеси в системах електро- і гальванокоагуляції. Наявність в складі розчинів речовин різної природи може вносити суттєві зміни в перебіг таких процесів, зокрема, блокувати анодне розчинення металу або, навпаки, інтенсифікувати корозійний процес, сорбуватися на поверхню коксового напівелементу, що призведе до гальмування катодної напівреакції утворення гідроксилу, тощо. Також в роботі є незначні неточності щодо потенціалу коксового напівелементу, який складає близько +0,8 В. Звертає на себе увагу і те, що в дисертації не проведено вивчення фазового складу осадів, утворених в процесі електро- та гальванокоагуляції фільтратів ТПВ, а рекомендації щодо подальшого їх використання ґрунтуються на даних інших авторів, в роботах яких проводилось знешкодження іншого класу стоків – рідких відходів гальванічних виробництв. Отже, доцільність отримання залізооксидних пігментів, магнітосприйнятливих сорбентів, феритів, магнітних рідин, будівельних матеріалів варто було б довести з точки зору біобезпеки та відсутності можливої токсичності.

Розділ 4 присвячений вивченню низконапірного зворотного осмосу в очищенні фільтратів полігонів ТПВ. На теперішній час зворотний осмос широко використовується для очищення фільтратів полігонів ТПВ завдяки перевагам перед іншими процесами розділення. Економічність зворотно осмотичних процесів корелює із тиском, за якого вони здійснюються. Робочий тиск при обробці фільтратів полігонів ТПВ залежить від вмісту солей, і, зазвичай, становить 3,6-6,0 МПа. На прикладі композитної поліамідної мембрани ESPA-1 показано доцільність використання низьконапірного зворотного осмосу під тиском 1,5–2,0 МПа при очищенні фільтратів полігонів ТПВ від іонів Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Cl^- і SO_4^{2-} . На підставі експериментальних

досліджень дисертантом проведено розрахунки очікуваного вмісту основних складових фільтрату полігону ТПВ № 5 у пермеаті зворотного осмосу і показано можливість скидання отриманого пермеату у водойми. Розрахований солеміст практично співпав із солемістом пермеату, отриманого за умов полігону на дослідній установці. В дисертації зроблено прогнозну оцінку можливості застосування низьконапірного зворотного осмосу для очищення фільтрату полігону ТПВ. Розрахунок показав, що пермеат фільтрату полігону ТПВ № 1 знаходиться на рівні ГДК вод, придатних для скидання на міські очисні споруди. При перебільшенні норм ГДК автор роботи пропонує застосування другої стадії зворотного осмосу низького тиску, або використання нанофільтраційних мембран. Встановлено, що амонійні сполуки доцільно видаляти з фільтратів до стадії зворотного осмосу. Показано, що процес зворотноосмотичного знесолення контролюється сумісною дією капілярно-фільтраційного механізму мембранної проникності і зарядового механізму. Розроблено і захищено патентом України промивний розчин для очищення поліамідних зворотно осмотичних мембран від забруднень, які відкладаються на їх поверхні в процесі обробки фільтратів полігонів ТПВ. Таким чином, на підставі проведених досліджень, зроблено висновок про те, що низьконапірний зворотний осмос придатний для знесолення фільтратів полігонів ТПВ. Водночас, проведене в Розділі 4 дослідження зворотноосмотичного знешкодження фільтратів не розкриває причину забруднення мембран та складу речовин-забрудників. Можливо було б доцільним проводити додаткові заходи для запобігання осадженню хімічних сполук на мембрані. Вірогідно варто було б провести дослідження з модельними розчинами для найкритичніших складових фільтратів ТПВ.

В Розділі 5 проведено ґрунтовне вивчення процесу видалення іонів NH_4^+ зв'язуванням їх у струвіт, для чого було використано оксид магнію та ортофосфатну кислоту. Реакція осадження струвіту супроводжується підвищенням значення рН реакційного середовища за рахунок гідратації оксиду магнію, що сприяє зв'язуванню іонів H^+ , які утворюються при перебігу реакції. Визначено оптимальні умови осадження струвіту та науково обґрунтовано режим видалення струвіту із фільтратів полігонів ТПВ. Реагентна обробка фільтратів київських полігонів № 1 і № 5 підтвердила ефективність обраного методу видалення амонійних сполук. Вивчена в ході виконання роботи реакція осадження струвіту може бути використана не тільки для видалення іонів амонію при очищенні фільтратів звалищ ТПВ, але і для виділення струвіту з ретентатів, які утворюються при зворотноосмотичному доочищенні зазначених стічних вод. Передбачене використання видаленого струвіту в якості мінерального добрива, яке одночасно містить три поживних елементи – азот, фосфор і магній. Гідрофосфати кальцію і магнію та гідроксилапатит, які можуть сумісно осаджуватися зі струвітом, також є фосфатними добривами. Незважаючи на те, що отриманий результат дає змогу не тільки сприяти знешкодженню фільтратів ТПВ, але й отримувати цінну сировину, в роботі не проведено фізико-хімічних досліджень отриманого струвіту, зокрема, не висвітлено структуру і морфологію осаду, не проведено аналіз на наявність

шкідливих домішок, наприклад, радіонуклідів, що є важливим для біобезпеки мінерального добрива.

В Розділі 6 проведено відпрацювання технології електродіалізного концентрування ретентату зворотноосмотичного знесолення фільтрату полігону ТПВ. Утворення в процесі знесолення значних об'ємів концентрату, де вміст речовин, від яких здійснюється очищення, недостатній для подальшої переробки, але значно перевищує вихідний, є істотним недоліком зворотного осмосу. З метою подолання цієї перешкоди було досліджено можливість глибокого концентрування модельного розчину хлориду натрію та фільтрату Київського полігону ТПВ № 5 у електродіалізаторі – концентраторі, вдосконалення конструкції якого дало змогу уникнути розігрівання й оплавлення мембран і рамок-прокладок у процесі електродіалізу, а також уникнути сольових відкладень на мембранах при проведенні високого концентрування солей.

Головні закономірності роботи електродіалізатора було вивчено на імітаторах зразків фільтрату полігону ТПВ № 5 м. Києва. Концентруванням зворотноосмотичного ретентату фільтрату полігону ТПВ № 5 на лабораторному зразку розробленого ЕДК було отримано два типи розсолів, один з яких містив хлориди катіонів ретентату, інший – натрієві солі аніонів ретентату, що виключало можливість утворення осадів. Вперше застосована електродіалізна обробка фільтрату полігону ТПВ показала, що електродіалізатор-концентратор спеціальної конструкції доцільно використовувати для глибокого концентрування ретентатів зворотного осмосу, що сприятиме ефективності їх подальшої переробки. Виглядає вдалим впровадження удосконаленої моделі електродіалізатора-концентратора завдяки просторовому розділенню розсолів, що дає змогу уникнути утворення осадів на мембранах та спростити технологію попереднього очищення стічних вод полігонів ТПВ.

В Розділі 7 запропоновано принцип розробки технологічних схем комплексної переробки фільтратів полігонів ТПВ, які базуються на гнучкому блочному принципі, в основу якого покладено використання двох мембранних методів – електродіалізу та зворотного осмосу. При цьому домембранна обробка фільтратів при необхідності може проходити шляхами механічного очищення для затримування завислих речовин; гальванокоагуляції для очищення від органічних полютантів; адсорбційного фінішного видалення низькомолекулярних органічних речовин; реагентного видалення амонію; знезараження УФ-опромінуванням; мікрофільтрації для тонкого очищення від завислих частинок перед подачею фільтрату на мембранний блок.

Значну увагу приділено комплексній переробці виділених при очищенні компонентів: шлам після гальванокоагуляції пропонується використовувати в виробництві залізооксидного пігменту; продуктом осадження амонію є цінне мінеральне добриво – струвіт; з розсолів, які утворюються при електродіалізному концентруванні фільтрату полігонів, запропоновано виділяти сульфат і хлорид натрію, а також отримувати гіпохлорити. Водночас, для таких рекомендацій необхідно провести комплексне вивчення продуктів, які утворюються в процесах знешкодження, про що йшлося вище. Вдалим рішенням виглядає гнучкий блочний принцип, який дозволяє варіювати

кількістю та порядком розташуванням блоків і тривалістю електродіалізної обробки. Таким чином, в залежності від складу фільтратів полігонів можна обирати принципові блок-схеми та прогнозувати рівень очищення фільтраційних вод. Ілюстрацією викладеному можуть слугувати запропоновані принципові блок-схеми очищення фільтратів київських полігонів № 1 і № 5, а також звалища м. Василькова, Львівського та Сумського полігонів ТПВ. Таким чином, експериментально доведено ефективність та економічну доцільність комплексної переробки фільтраційних вод полігонів ТПВ поєднанням мембранних методів. Проведені дослідження дозволили вирішити поставлену задачу – створити наукові основи знешкодження та переробки багатокомпонентних токсичних вод «старих» і стабілізованих полігонів захоронення ТПВ до нормативних показників.

Результати досліджень, що представлено в авторефераті та в опублікованих роботах, відповідають змісту дисертаційної роботи. Зміст роботи відображено в 57 наукових публікаціях, у тому числі 27 статей у фахових виданнях, з них 12 – у SCOPUS, восьми патентах України, розділі монографії, а також 21 тезах доповідей на міжнародних і українських наукових конференціях.

Дисертаційна робота М.М. Балакіної написана на основі науково-дослідних робіт, виконаних в Інституті колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України. Розгорнутий аналіз зразків фільтратів полігонів ТПВ проведено співробітниками Науково-технічного центру випробування води ІКХХВ ім. А.В. Думанського НАН України.

Зауваження до дисертаційної роботи:

1. Незважаючи на те, що оглядова частина роботи містить вичерпану інформацію щодо еволюції полігонів ТПВ, їх складу та методів очищення, в експериментальну частину входить значний обсяг оглядового матеріалу. Зважаючи на обмеженість об'єму дисертаційної роботи, вірогідно варто б було в Розділі 1 зосередити увагу безпосередньо на мембранних методах знешкодження рідких відходів і перенести в нього літературні дані із експериментальної частини.

2. Враховуючи багатокомпонентність складу фільтратів ТПВ виглядало б доцільним для порівняння навести дані вилучення окремих компонентів із модельних розчинів, що дало б змогу виключити сумарний вплив складових розчинів на параметри процесу знешкодження.

3. Відсутні дані щодо складу, структури та властивостей осадів, отриманих при проведенні електро- та гальванокоагуляції, знешкодженні сполук амонію (струвіту), тим більше, що вони пропонуються для використання в якості вторинної сировини.

4. Колоїдно-хімічні механізми процесів, що супроводжують формування осадів, в окремих випадках носять суто гіпотетичний характер.

Даючи позитивну оцінку дисертації в цілому, вважаємо, що вона є закінченим дослідженням, в якому створено наукові основи знешкодження та переробки токсичних багатокомпонентних «старих» і стабілізованих фільтратів полігонів захоронення твердих побутових відходів до нормативних показників на основі раціонального поєднання комплексу електрохімічних і мембранних процесів.

Дисертаційну роботу написано на науковій літературній українській мові, з незначною кількістю помилок, оздоблена великим ілюстративним матеріалом (90 рисунків, 49 таблиць), який відображує зміст дисертації, актуальність теми, постановку задач, результати досліджень. Робота складається із 7 розділів, містить 533 найменування першоджерел. В дисертації використані сучасні хімічні та колоїдно-хімічні методи дослідження.

Таким чином, дисертаційна робота М.М. Балакіної є завершеним науковим дослідженням в галузі колоїдної хімії. За змістом, актуальністю теми, науковою новизною, обґрунтованістю наукових положень, висновками, практичною значимістю дисертація відповідає вимогам Атестаційної колегії Міністерства освіти і науки України, а її автор, Балакіна Маргарита Миколаївна, заслуговує присудження наукового ступеня доктора хімічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека.

Офіційний опонент,
провідний науковий співробітник
відділу функціональної кераміки
на основі рідкісних земель
Інституту проблем матеріалознавства
ім. І.М. Францевича НАН України,
доктор хімічних наук,
старший науковий співробітник

О.М. Лавриненко

Підпис О.М. Лавриненко засвідчую,
Вчений секретар
ІПМ ім. І.М. Францевича НАН України
К.ф.-м.н.



В.В. Картузов