

ВІДГУК

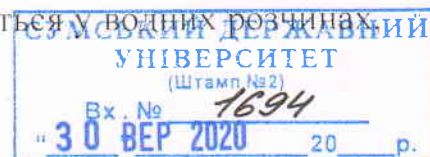
офіційного опонента на дисертаційну роботу **Бордуна Ігоря Михайловича**
«Науково-методичні основи екологічно безпечних технологій
водопідготовки з використанням фізико-хімічних методів»,
поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за
спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека

Дисертаційна робота загальним обсягом 430 сторінок складається з вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел кількістю 501 найменування, вміщує 138 рисунків і 43 таблиці.

Актуальність теми дисертаційної роботи зумовлена гостротою та нагальністю заощадливого водокористування – світової вимоги сучасності, підсиленої в Україні дуже малою водозабезпеченістю, широким застосуванням водовитратних технологій, необхідністю мінімізації утворюваних небезпечних відходів при водопідготовці.

Одним з перспективних напрямків вирішення цієї проблеми є заміна хімічних технологій в процесах водопідготовки та покращення якості води на фізичні та фізико-хімічні, що не супроводжуються утворенням твердих відходів. З огляду на європейський досвід та нормування, управління органічними відходами (вуглецевим слідом) в Україні потребує мінімізації їх об'єму та шкідливого впливу на довкілля. Ще однією з найгостріших екологічних проблем водокористування сьогодення є наявність та стабільне поширення в природному середовищі штучних нанорозмірних частинок. І саме цим напрямом, об'єднаним загальною суперпроблемою – екологічно безпечним водокористуванням, присвячена дисертаційна робота пошукача: біоіндикація наявності та небезпеки в водних середовищах наночастинок різної хімічної природи, розробка безреагентних методів, установок та технологій підготовки води ЕХА для різних промислових процесів, синтез з рослинних відходів вискоєфективних адсорбентів для глибокої очистки води та матеріалів заданої якості для електродних технологій.

Розроблені технічні та технологічні рішення сприяють розширенню методів оперативного моніторингу водних середовищ, одержанню багатофункціональних промислових водних розчинів, що зменшують екологічну небезпеку основних технологій та товарів, утилізації рослинних відходів з одержання корисного продукту – адсорбента для очистки води, а також є основою для технологій отримання і застосування високоактивних розчинів та адсорбентів зі специфічними функціональними властивостями. Вони відповідають сучасним тенденціям в світі щодо розроблення та впровадження ефективних видів відновлювальних джерел енергії та інноваційних екологічно безпечних технологій. Розробки автора базуються на результатах глибоких експериментальних та теоретичних досліджень з притягненням низки сучасних фізичних, хімічних та матеріалознавських методів та устаткування для дослідження матеріалів, які дозволили прояснити природу змін та перетворень, які відбуваються у водних розчинах.



за умови дії на них зовнішніх електричних полів, та в біовугіллі у процесі синтезу з нього АВ і його подальшого модифікування. Одержані автором результати дозволяють науково обґрунтувати й сформулювати стратегію і тактику використання фізико-хімічних методів для екологічно безпечних технологій водопідготовки, чим сприяють поліпшенню рівня екологічної безпеки водокористування в Україні.

Актуальність теми дисертаційного дослідження **Бордуна І.М.** підтверджується також й тим, що його робота виконувалась в рамках виконання плану науково-дослідних робіт кафедри «Екологія та збалансоване природокористування» Національного університету «Львівська політехніка» за тематикою «Природоохоронні технології очищення рідинних середовищ адсорбційними (селективними) методами» (номер державної реєстрації 0108U001387) та «Фізико-хімічні методи водопідготовки для технологічних процесів та модифікації матеріалів» (номер державної реєстрації 0113U005278). Окремі результати дисертаційного дослідження одержані під час виконання робіт у рамках проєкту Науково-технологічного центру в Україні № 818 «Development of a New Battery System for the Storage of Renewable 2 Solar Energy», за господарсько-договірною темою «Пошук нових підходів до створення літєвих джерел живлення нового покоління» (договір № 0012, код «Фаєтон»), у комплексному проєкті «Розроблення вимірювальних засобів та нових методів оперативного контролю інтегральних параметрів забруднення водних середовищ» за участю НУ «Львівська політехніка», Вінницького НТУ та Тернопільського НТУ ім. І. Пулюя (номер державної реєстрації 0114U004313, код «ДБ/Еколог»), за держбюджетною науково-дослідною темою Міністерства освіти та науки України «Супрамолекулярний дизайн наноструктур для надвисокоємних функціональногібридних накопичувачів енергії з електрохімічними і квантовими механізмами» (номер державної реєстрації 0118U000272, код «ДБ/Імпульс»).

До основних наукових результатів дисертаційного дослідження слід віднести наступне:

- теоретичне обґрунтування та експериментальне доведення ефективності екологічно безпечних способів дезінфекції з допомогою ЕХА розчинів хлориду натрію, виконаних на підставі механізмів взаємодії 4 активованих водних розчинів та водних розчинів, що містять розосереджені НЧ, із білковими молекулами, що сприяло підвищенню рівня екологічної безпеки харчових виробництв;

- дослідження придатної до УЗ модифікації електронної структури та фрактальної будови нанопористого біовуглецю, синтезованого зі стовбурів і листя кукурудзи та бурякового жому після активаційної карбонізації, що дає можливість значно підвищити функціональну гібридизацію та сорбційну ємність біовуглецю відносно забруднень водних середовищ;

- теоретичне обґрунтування та експериментальне доведення механізму модифікування активованого вугілля для застосування його в природоохоронних технологіях: доведення того, що максимальні значення

ємності нанопористих біовуглеців відносно накопичення заряду спричинені зміщенням рівня Фермі в енергетичну ділянку, яка характеризується підвищеною густиною станів делокалізованих електронів, і не пов'язані зі зміною площі поверхні адсорбційних пор;

- синтез (за двостадійною методикою) й успішна апробація нового типу сорбенту – модифікованого біовуглецю (сировина – буряковий жом і стовбури та листя кукурудзи) із магнітними властивостями та високою адсорбційною ємністю відносно забруднень у поєднанні зі зручною сепарацією його з водних розчинів, що підвищує надійність адсорбційної очистки, поглиблює рівень очищення водних середовищ та поліпшує рівень екологічної безпеки гідросфери;

- розширення теоретичних основ екологічного моніторингу дії на живі організми розосереджених у водному середовищі НЧ, активації водного розчину електричним полем.

Значимість отриманих результатів для практичного використання
Автором на основі аналізу одержаних фактичних даних

- створено ефективну технологію модифікування поверхні біовуглецю водними розчинами, активованими в електричному полі, яка захищена патентом України і дозволяє забезпечити у разі її реалізації високий рівень енерго- та ресурсозбереження;

- створено й успішно апробовано захищений патентом метод контролю процесу ЕХА водних розчинів з широким набором вхідних параметрів на основі відстежування зміни сили струму, який протікає крізь електролізер, за постійної напруги на електродах. Метод дозволяє зменшити енергозатратність одержання промислових водних розчинів за умови одночасного підвищення їхньої ефективності, а також провести оптимізацію процесу ЕХА водних розчинів;

- розроблена та апробована на Чортківському цукровому заводі ТзОВ «Радехівський цукор» технологія виробництва і застосування у промислових умовах екобезпечного дезінфектанту на основі аноліту водних розчинів хлориду натрію, що підтверджено відповідним актом;

- успішно апробовано технологію синтезу та модифікування біовуглеців з нанопористою структурою, які можна застосовувати як високоефективні сорбенти для очищення водних середовищ від забруднень, а також як електродний матеріал для виготовлення СК підвищеної питомої ємності. Практична цінність підсилюється функціональною гібридизацією обох напрямів застосування біовуглеців;

- результати дисертаційної роботи передані для впровадження в Державне підприємство «Сумський державний науково-дослідний інститут мінеральних добрив та пігментів» – для очистки стоків від барвників за допомогою активованого вугілля з відходів сільського господарства (акт впровадження від 21.11.2018), ТзОВ «ПАНСЕМАЛ»; – результати дисертаційної роботи передані для використання у приготуванні гіпсових

розчинів (акт впровадження від 03.03.2020) та в ЛОО «Всеукраїнська екологічна ліга» – для моніторингу впливу НЧ на живі організми (акт впровадження від 30.01.2020);

– матеріали дисертації використовуються в навчальному процесі НУ «Львівська політехніка» під час підготовки спеціалістів за спеціальністю 101 – екологія у програмі курсів «Техноекологія», «Біомоніторинг навколишнього середовища» та «Технологія підготовки питної води» (акт впровадження від 13.02.2020).

Аналіз основного змісту роботи

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, задачі, об'єкт і предмет дисертаційного дослідження, визначено наукову новизну і практичне значення роботи, а також особистий внесок автора дисертації.

У першому розділі, присвяченому аналізу проблем екологічної безпеки водокористування, автор за даними науково-технічної літератури дослідив і визначив основні підходи до забезпечення раціонального, екологічно безпечного, економічно ефективного використання водних ресурсів. Він проаналізував наявні екологічно безпечні технології водопідготовки, які використовують фізико-хімічні методи, розглянув шляхи утилізації відходів біосировини для розв'язання проблем водоочистки та енергетики, і на основі проведеного аналізу запропонував стратегію розробки екологічно безпечних технологій водопідготовки з використанням безпосереднього впливу фізичних полів на водні розчини і опосередкованого впливу на водопідготовку через матеріали, модифіковані такими полями. Особливу увагу автор приділив методам аналізу екотоксичності отримуваних водних розчинів. В цілому він запланував зосередити основні дослідження на технологіях, що використовують безреагентні методи водопідготовки і синтез високопористих адсорбентів та матеріалів для електродних технологій із рослинних відходів (продуктів сільськогосподарського виробництва чи харчової промисловості) та методах їх застосування.

В другому розділі описані методики одержання водних розчинів, синтезу, модифікування та дослідження біовуглеців, які проаналізовано в дисертації. Автором для піролізу та подальшої фізичної активації з/без додатковим хімічним активатором в якості вихідної сировини було обрано качани, стебла і листя кукурудзи та жом із цукрових буряків. Описано методики модифікування за допомогою УЗ опромінення в кавітаційному і докавітаційному режимах у сферичному реакторі, виготовленому з кераміки, та промисловому УЗ реакторі. Описано розроблені під керівництвом автора конструкції електролізерів і методики дослідження електрохімічних процесів у запропонованих апаратах. Для одержання ЕХА водних розчинів обрано стаціонарний двокамерний діафрагмовий реактор з постійною напругою на електродах, який можна використовувати для активації розчинів з різною початковою мінералізацією та хімічним складом. Використання різних за

геометричними розмірами електролізерів уможливило розширення допустимих меж напруженості електричного поля за незначної зміни густини електричного струму. Дослідження структури та морфологічних особливостей вугільних матеріалів проводили адсорбційними, і рентгенівськими методами. Поєднання методів рентгенівської дифракції та малокутового рентгенівського розсіювання дало змогу зробити висновки про особливості матеріалу на нанорівні і про його пористу структуру. Дослідження адсорбції барвників здійснено за спектрофотометричною методикою. Для експериментального вивчення біологічної активності ЕХА розчинів використано метод клиновидної дегідратації крапель модельного розчину сироватки крові на скляних підкладках. Висушені краплі – фації, досліджували за допомогою оптичного мікроскопа. Спектри оптичного пропускання, збудження та люмінесценції активованих водних розчинів та розчинів білків з наночастинками вимірювали спектрофлуориметрично. Дослідження дезінфікуючих властивостей ЕХА розчинів проводили в умовах спеціалізованої мікробіологічної лабораторії за стандартними методиками. Для визначення розрядної ємності та внутрішнього опору експериментальних СК використано пряму хронопотенціометрію – електрохімічний метод дослідження, оснований на аналізі зміни електродного потенціалу у часі за контрольованого значення струму в електрохімічній комірці. Усі вимірювання проводили з використанням сучасних методик і на сучасному обладнанні, результати обробляли статистично.

Третій розділ присвячено розробці способу оперативного біоіндикаційного моніторингу наслідків потрапляння НЧ у живий організм та аналізу їхньої взаємодії з білковими молекулами. Автор постулює, що потрапивши у біологічну рідину, НЧ покриваються шаром білків, внаслідок чого модифікуються і властивості самих НЧ, і білків. Аналіз взаємодії НЧ з білками, для якого використано метод клиновидної дегідратації модельного розчину сироватки крові людини, може дати багато інформації про токсичність впливу. Модельні розчини сироватки крові людини в нормі та в разі патології умовно поділено на дві групи: водно-сольові розчини сироваткового альбуміну людини на дистильованій воді та водно-сольові розчини сироваткового альбуміну людини на воді, яка має змінені властивості. В процесі висихання у фації з білково-сольового розчину утворюються три зони, на картину яких має вплив не тільки вміст білка, а й співвідношення концентрацій білок – сіль. Встановлено, що електричне поле досить сильно змінює властивості води з катодної камери електролізера – католіту: фації на основі ЕХА води відрізняються білковосольовою зоною. При додаванні до розчину білка НЧ Fe та цитрату Fe спостерігаємо зміни не тільки на різних етапах висихання, але й у кінцевому вигляді висохлих фацій. Аналіз одержаних фацій показує, що взаємодія НЧ з білковими молекулами проявляється у зміні не тільки структурних елементів фацій, а й кінетики висихання краплин. Люмінесцентним аналізом, який є одним з найчутливіших методів визначення кількісних і якісних показників

біологічних об'єктів, підтверджено, що НЧ Fe, а також цитратів Fe і Cu можуть призвести до порушення функціональної активності альбуміну в живих організмах.

Таким чином, клиновидна дегідратація є оперативним та вельми інформативним методом якісного аналізу взаємодії НЧ з різними біооб'єктами. Розвиток і вдосконалення цієї методики дозволить широко використовувати її для екологічного моніторингу забруднень, спричинених нанотехнологіями.

Четвертий розділ присвячено методології застосування ЕХА водних розчинів для підвищення рівня екологічної безпеки ряду промислових процесів: розробка та дослідження методів одержання, зберігання та багатофункціонального застосування промислових водних розчинів, які пройшли ЕХА, в екологічно безпечних технологіях. Для контролю процесу ЕХА, який дозволяє врахувати вплив початкових параметрів розчину, що активується, на кінцевий результат активації – глибину активації розчину та ступінь екологічної безпеки процесів, у яких використовуються активовані водні розчини, в діафрагмових електролізерах автором запропоновано використовувати зміну сили струму, що протікає крізь електролізер за постійної напруги на електродах.

Дані люмінесцентної спектроскопії (чутливого методу ідентифікації різних домішок у воді) свідчать про відсутність вмісту шкідливих метастабільних сполук у досліджених ЕХА водних розчинах.

Встановлено, що для отриманої в результаті ЕХА метастабільної води характерні релаксаційні зміни (і для аноліту, і для католіту) що виключає необхідність в нейтралізації цих розчинів після використання.

Отримані результати дослідження властивостей ЕХА розчинів і релаксаційних процесів у них дозволяють ефективно застосовувати такі розчини для розробки екологічно безпечних технологій водопідготовки в різних галузях промисловості. Автором розглянуто застосування ЕХА водних розчинів для екологічно безпечної біоцидної обробки дифузійних апаратів в цукровому виробництві, модифікування поверхні АВ для використання його як матеріалу електродів СК, виробництва гіпсових в'язучих матеріалів. Спонтанні мікробіологічні процеси, які супроводжують цукрове виробництво, спричиняють значні втрати сировини, сахарози та суттєво зменшують вихід цукру. Традиційний дезінфікуючий засіб – формалін, належить до 2 класу токсичності. Дезінфектант на основі аноліту 0,01 М розчину натрій хлориду проявив високу анібактеріальну та антигрибну активність при дезінфекції дифузійного соку в промислових умовах. Витримування АВ марки БАУ, Norit DLC Supra 30 та Аусфер 12 год в аноліті, одержаному при ЕХА низькомінералізованого розчину KCl у дистильованій воді, дає збільшену питому смість виготовлених СК на $\approx 15\%$.

Для підвищення економічних показників виробництва гіпсових в'язучих матеріалів використовують модифікатори та пластифікатори, які є екологічно небезпечними хімічними сполуками (продуктами поліконденсації

з формальдегідом сульфованих ароматичних вуглеводів). У разі застосування як води замішування католіту максимальна міцність гіпсових зразків на згин зростала на 31 %, а міцність на стиск – на 29 %. Це дає можливість відмовитись одразу від двох типів модифікаторів: зміцнювачів та регуляторів термінів тужавіння.

П'ятий розділ присвячено аналізу методів синтезу біовуглеців із різних відходів рослинного походження (кукурудзяні качани, листки, стебла, сухий буряковий жом), дослідженню їхньої структури та сорбційних властивостей. Рентгенівські дифрактограми АВ із досліджуваних матеріалів виявили аморфну структуру зразків та свідчили про синтез нанокристалів графітоподібного складу, у яких міститься декілька паралельних шарів графену. Встановлено, що у кристалоподібну складову домінуючу частку вносять графітоподібні тривимірні кристали.

Детальну інформацію про структуру пор АВ автор отримав на підставі результатів МРРП, яке оцінило розподіл пор та питому поверхню АВ. Досліджувані системи виявились полідисперсними, а розподіл пор за розмірами в них був достатньо широкий, вугілля АВС (із стебел кукурудзи) мало найбільшу концентрацію мезопор.

Адсорбційні властивості АВ визначають такі характеристики пористої структури, як об'єм пор та питома площа поверхні. Автором доведено, що УЗ вплив в ділянці потужностей «до кавітації» – ефективний метод зміни фракційного складу АВ в результаті подрібнення частинок вугілля. В докавітаційній ділянці УЗ діє і за механічним, і за хімічним механізмом. УЗ обробка у кавітаційному режимі також спричинює зміни властивостей, насамперед пористої структури матеріалу: збільшення середнього діаметра пор і як наслідок - зменшується питома площа поверхні пор. Кавітаційна УЗ обробка призводить до збільшення ступеня графітизації вуглецевого матеріалу і, відповідно, до збільшення його густини.

Для рішення проблеми відділення відпрацьованого порошкового адсорбент від розчину автор застосував синтез магніточутливих адсорбентів, які можна відділити за допомогою магнітного сепаратора. Дослідження магніточутливих адсорбентів з рослинної сировини показали, що середній діаметр пор зменшується, відбувається формування більш розвинутої поруватої поверхні й істотно збільшується питома площа поверхні пор. Магнітними вимірюваннями встановлено, що синтезовані зразки феромагнітного біовуглецю володіють магнітним гістерезисом.

Характер та глибина протікання адсорбційних процесів, які широко використовуються в екотехнологіях, визначаються величиною, хімічним складом та структурними особливостями вуглецевої поверхні. Адсорбційні процеси досліджено автором на прикладі метиленового синього, бромтимолового синього водорозчинного та індигокарміну. Описані параметри рівняння Ленгмюра разом із коефіцієнтом кореляції для адсорбції барвників на різних адсорбентах. Показано, що рівняння Ленгмюра досить добре описує ізотерми адсорбції МС та ІГ. Дослідженнями встановлено, що

з достатньою точністю з адсорбції МС можна оцінювати значення величини питомої площі поверхні АВ у випадку врахування гідрофільності вугілля.

Автором експериментально доведено, що сорбційна здатність щодо нафтопродуктів після УЗ для усіх видів АВ з рослинної сировини зростає. Найбільшим був вплив УЗ на адсорбційну ємність АВ із жому: після УЗ обробки поглинальна здатність цього матеріалу щодо нафти зростає на 150 %, щодо гасу – на 100 %, а для вугілля з кукурудзи поглинальна здатність щодо дизпалива зростала на 50 %. Таким чином, тому використання цих матеріалів як адсорбентів є перспективним для очищення природних об'єктів від забруднень нафтою та нафтопродуктами, а активоване біовугілля за сорбційними властивостями не поступається синтезованому з невідновної сировини.

Шостий розділ присвячено дослідженням біовуглеців як електродних матеріалів для систем накопичення заряду та ємнісної деіонізації води. Акцент було зроблено на використанні безреагентних методів впливу на АВ, особливо УЗ технологіям,

Встановлено, що для матеріалів електродів СК, які виготовлено на основі вугілля після УЗ обробки в кавітаційному режимі, питома ємність вища, ніж у вихідного АВ. Автором показано, що параметри СК, які сформовані на основі модифікованого ЕХА розчинами АВ, перевищують аналогічні, отримані для немодифікованого АВ, на 15–25 %. Це значно менше від змін питомої ємності вугілля БАУ після УЗ обробки. Отже, тільки зміною властивостей поверхні неможливо досягти впливу на питому електричну ємність АВ, аналогічного УЗ обробці.

Автор проаналізував особливості подвійного електричного шару на межі розділу неметалічної твердої фази електрода з електролітом і показав, що синтезуючи АВ та плануючи використання його як матеріалу СК, варто забезпечити можливість росту густини станів делокалізованих носіїв заряду на рівні Фермі. Паралельна електропровідність, якою може бути шунтована велика ємність CSC, пропорційна і до концентрації делокалізованих носіїв, і рухливості цих носіїв.

Оскільки провідність нанопористого вуглецю має перколяційну природу, то саме фрактальна геометрія визначає рухливість носіїв заряду в ньому. Автор довів, що у процесі впливу УЗ відбувається руйнація масових фрактальних кластерів, але незмінними залишаються поверхнево-фрактальні. Відбувається перерозподіл хімічних груп на поверхні, а ділянка «розмитой» поверхні розділу фаз мігрує в напрямку менших значень хвильового вектора.

Показано кореляцію між зростанням питомої ємності АВ та зміною їх енергетичного стану. Отже, за думкою автора, дія УЗ викликає зміщення рівня Фермі в енергетичну ділянку, де густина електронних станів більша. Внаслідок цього збільшується питома електроємність матеріалу і зменшується його внутрішній опір

Дослідження різних видів АВ, які застосовувались у несиметричних СК, засвідчили, що у випадку використання АВ, яке перебувало під дією УЗ

впродовж 10 хв, як матеріалу катода, отримано меншу питому ємність, ніж у випадку використання цього матеріалу як анода. Отже, для синтезованого АВ, модифікованого впливом УЗ, характерна асиметризація вольт-фарадних характеристик для додатної та від'ємної поляризації.

Значне збільшення в анодній ділянці потенціалів питомої ємності для АВ підтверджує ефективність використання цих матеріалів як від'ємного електрода несиметричного СК. Показано, що термообробка порошків істотно впливає на величину їхніх трибозарядів. Для розділення вуглецевих матеріалів проводили попередню підготовку. З отриманих фракцій АВ виготовлено електроди для дослідних зразків СК та визначено питому ємність матеріалів. Найбільшу питому ємність (на $\approx 25\%$ вищу порівняно з вихідним вугіллям) мав матеріал з розмірами частинок 1–10 мкм.

Високу ефективність для розділення на фракції біовуглеців проявила аеросепарація в електричному полі, яка є дуже екологічно привабливою технологією оскільки не вимагає використання води з подальшим очищенням стічних вод та характеризується найменшою запиленістю повітря.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Бордуна І.М. вважаю високою. Вона базується на глибокому кваліфікованому аналізі дуже широкого кола науково-технічних джерел, чіткому визначенні та формулюванні досліджуваної проблеми й постановки мети і задач дослідження, залученні великої кількості даних власних експериментальних досліджень водних середовищ, його екологічно небезпечних домішок та методів очищення, збіжності результатів теоретичних розрахунків з експериментальними даними, постійному аналізі отриманих результатів у співставленні з опублікованими науково-технічними даними, коректному й обґрунтованому формулюванні висновків. Результати досліджень добре узгоджується із сучасними теоретичними та практичними даними щодо впливу ЕХА на властивості водних середовищ, впливу фізичних чинників на адсорбційні властивості біовугілля, що підтверджує обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі, й достовірність отриманих результатів.

Результати досліджень автора пройшли широку апробацію на міжнародних науково-технічних і науково-практичних конференціях (в тому числі за кордоном), що свідчить про достатній рівень поінформованості українських й зарубіжних науковців та фахівців щодо виконаних **Бордуном І.М.** наукових і практичних розробок.

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 60 наукових праць: 33 статті, з них 11 статей – у виданнях, що індексуються наукометричними базами даних Scopus та/або Web of Science, 17 – у спеціалізованих виданнях, що входять до переліку МОН України, 25

матеріалів і тез доповідей на конференціях, з яких 3 публікації – у виданнях, що індексуються у Web of Science, одержано 2 патенти України.

Достовірність отриманих результатів

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується коректністю та науковою обґрунтованістю постановок дослідницьких задач, застосуванням стандартних процедур математичного аналізу, статистичною обробкою експериментальних даних. Здобувач проводив дослідження, використовуючи сучасне закордонне обладнання для фізичних, фізико-хімічних та матеріалознавських аналізів. Достовірність запропонованих методів розрахунку перевірена шляхом зіставлення розрахункових значень з даними в опублікованих матеріалах і дослідними значеннями. Задовільна їх збіжність свідчить про достовірність і надійність отриманих результатів.

Методичний рівень проведених досліджень

Достатній ступінь достовірності та обґрунтованості наукових висновків та рекомендацій, що отримані автором, підтверджується застосуванням сучасних методів проведення вимірювань й іспитами.

Редакційний аналіз

Дисертація оформлена відповідно до вимог МОН України.

Відповідність тексту автореферату і дисертації

Зміст автореферату та основні положення дисертації ідентичні.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. В назві підрозділу 1.3 замість терміну "технології водопідготовки" доцільніше використовувати терміни "технології водокористування", оскільки таким чином враховуються методи і водопідготовки, і водоочищення, в тому числі стічних вод, для яких успішно застосовується сорбційна очистка з допомогою АВ та біовуглецю.

2. В тексті дисертації використовується показник концентрації забруднень г/л замість г/дм³.

3. В розділі 2 не приведено методику оцінки біоцидного впливу аноліту, утвореного в процесі ЕХА водного розчину хлориду натрію, на розвиток бактеріальної та грибної мікрофлори.

4. В розділі 3 та матеріалі автореферату помилково вказано, що білки складаються приблизно з 22 різних амінокислот. Білки можуть містити тисячі амінокислотних залишків, проте всі вони (протеїногенні амінокислоти) належать до 20 видів, та 2, іноді трансляційно включених.

5. Навряд дуже незначне зниження рН аноліту до 5,70 порівняно з контролем 5,76 (розділ 3, с. 164) може слугувати вагомим чинником утворення кластерних білкових структур і сповільнення (чи навіть припинення) обмінних процесів у живій клітині.

6. Не зрозуміло чи враховували при проведенні досліджень крапель водно-сольових розчинів сироваткового альбуміну людини методом клиновидної дегідратації підвищення температури води при проведенні ЕХА.

7. В висновках по 3 розділі відсутній висновок про вплив ЕХА на характеристики фацій на водно-сольові розчини сироваткового альбуміну при дослідженнях методом клиновидної дегідратації.

8. На с. 221 дисертації висловлене припущення про інгібуючий вплив рН водного розчину хлориду натрію після ЕХА на активність ферментів досліджуваних бактерій та грибів. А в матеріалах дисертації дані про зміну рН розчину хлориду натрію після ЕХА та релаксацію цього показника не приведено.

9. Пошукач не відмітив (пункт 4.6.2), що модифікатори і пластифікатори, які наразі використовуються в виробництві будівельних матеріалів, при передозуванні під час приготування будівельних розчинів можуть також створювати проблеми для екологічної безпеки житла для мешканців.

10. В розділах 3-6 при представленні результатів досліджень в таблицях та рисунках замало статистичної обробки одержаних експериментальних даних.

11. В пункті 5.1.4 дисертації вказано на істотне подрібнення АВ в результаті УЗ опромінювання. Чи не є це основним чинником зміни хімічних та фізичних властивостей цього адсорбента? Адже сорбційні властивості матеріалів при подрібненні суттєво поліпшуються.

12. В розділі 6 вказано, що для виготовлення електродів СК рекомендовано вугілля, яке має найбільшу питому ємність має з розмірами частинок 1–10 мкм. Проте нажалі не вказано, к технічно можливо одержати таку фракцію з вихідного вугілля?

ВИСНОВОК

Наведені недоліки не змінюють загального високо позитивного враження від дисертаційної роботи і можуть розглядатись як побажання в подальшій науково-дослідній роботі.

Дисертаційна робота **Бордуна Ігоря Михайловича «Науково-методичні основи екологічно безпечних технологій водопідготовки з використанням фізико-хімічних методів»**, за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 21.06.01 – екологічна безпека.

Дисертаційна робота **Бордуна І.М.** є актуальною, для України, в ній отримано нові науково обґрунтовані теоретичні і експериментальні результати, які мають суттєве значення для науково обґрунтованого забезпечення належного рівня екологічної безпеки промислових водних середовищ. На підставі експериментальних та теоретичних досліджень автором запропоновано методичні підходи та конкретні розробки широкого кола екологічно безпечних технологій водопідготовки із застосуванням

фізико-хімічних методів для забезпечення раціонального використання водних ресурсів, переробки відходів сільського господарства та харчової промисловості, а також зменшення обсягів скидання шкідливих речовин у навколишнє середовище.

Дисертаційна робота є завершеним дослідженням, містить наукову новизну та практичну користь, відповідає вимогам, які пред'являються до кандидатських дисертацій ДАК МОН України - п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013, а її автор **Бордун Ігор Михайлович** заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01– екологічна безпека.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри безпеки життєдіяльності
та інженерної екології Харківського
національного університету будівництва
та архітектури, доктор технічних наук,
професор



В.О.Юрченко

*Свідомо засвідчую
Нагальним відомостям*



М. І. Кобзева