

Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**НОВІ ВИСОКОЕФЕКТИВНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД
РОЗЧИННИХ ТА НЕРОЗЧИННИХ ПОЛЮТАНТІВ**

1. ТРУС Інна Миколаївна – к.т.н., старший викладач кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".
2. ГАЛИШ Віта Василівна – к.х.н., старший викладач кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".
3. СКИБА Маргарита Іванівна – к.т.н., доцент кафедри технології неорганічних речовин та екології Державного вищого навчального закладу «Український державний хіміко-технологічний університет».
4. РАДОВЕНЧИК Ярослав Вячеславович – к.т.н., старший викладач кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".

Реферат

Київ – 2019

Мета роботи: розробка інноваційних високоефективних методів водопідготовки та очищення стічних вод від розчинних та нерозчинних поліюгантів для використання у різних галузях промисловості, що дозволяє створити комплексні маловідходні технології демінералізації для екологічно безпечних систем водокористування.

Наукова новизна. Вперше визначено закономірності процесів знесолення природних, шахтних та інших стічних вод, взаємозв'язки між характеристиками рідких відходів та параметрами процесів їх переробки з отриманням корисних продуктів та очищеної води.

Створені ефективні процеси стабілізаційної обробки води перед її баромембранним знесоленням, з досягненням необхідної стабільності води для забезпечення високого виходу перміату при мінімальних об'ємах рідких відходів – концентратів. Розроблені високоефективні методи знесолення сульфатмістких концентратів при їх реагентному пом'якшенні та переробки даних осадів в будівельні матеріали. Розроблені методи іонообмінного знесолення та розділення аніонів в залежності від іонного складу розчинів, форми іоніту, встановлено залежність ефективності знесолення та пом'якшення води на аніонітах в основній формі від іонного складу води, співвідношення жорсткості, лужності води та концентрації хлоридів і сульфатів.

Розроблені процеси електрохімічної переробки сульфатвмісних розчинів та елюатів, що містять солі натрію, з метою отримання концентрованих розчинів кислоти та лугу відповідно, що придатні для подальшого використання. Показано залежність ефективності процесів знесолення та пом'якшення концентратів електродіалізом від конструкції електролізера, хімічного складу розчину і умов електролізу, визначено параметри процесу електрохімічного вилучення з води сульфату натрію з отриманням розчинів лугу та сірчаної кислоти концентрацією до 40 %. Розроблено конструкцію електролізера, який дозволяє переробляти хлормісткі мінералізовані відходи в окислювальні суміші для дезинфекції води в присутності іонів жорсткості.

Розроблено способи одержання комбінованих біосорбентів на основі компонентів рослинної сировини (вітчизняних відходів агропромислового комплексу), модифікованих неорганічними нанокластерами, для концентрування та вилучення з низькоактивних водних розчинів радіоцезію та радіостронцію. Встановлено залежність між вмістом модифікатора в об'ємі органічного носія з структурно-сорбційними властивостями одержаних матеріалів. Показана висока ефективність використання комбінованих біосорбентів для вилучення радіоактивних елементів як з індивідуальних, так і з високосольових водних розчинів.

Розроблено способи одержання сорбентів на основі оксигідроксидів металів та полімерних фільтрів, модифікованих плазмохімічно одержаними наночастками срібла для комплексного очищення та знезараження питної води. Встановлено вплив умов (технологічні параметри) модифікування наноструктурованих сорбентів на основі оксигідроксидів металів та полімерних фільтрів наночастками срібла на їх фізико-хімічні, сорбційні та антибактеріальні властивості. Показана ефективність використання модифікованих матеріалів для комплексної очистки підземних та поверхневих вод від іонів важких металів, полівалентних аніонів, вірусів та мікроорганізмів.

Також показано ефективність використання плазмохімічного способу очищення стічних вод гідрометалургійних виробництв.

Проведено комплекс теоретичних та експериментальних досліджень, результати яких дозволили створити наукові та практичні засади переміщення рідин в матеріалах з капілярними властивостями та розробити ефективні і прості методи очищення води та розділення твердої і рідкої фаз. Вивчено вплив різноманітних факторів на швидкість руху рідини в тонких капілярах, запропоновано модель переміщення рідини та розраховано основні умови такого переміщення. Доведено високу ефективність та перспективність застосування матеріалів з капілярними властивостями при зневодненні осадів різного походження.

Практична значимість. Комплексний підхід до вирішення проблем створення маловідходних технологій демінералізації води, знайдені рішення з розробки ефективних методів водопідготовки та знесолення мінералізованих, шахтних та інших стічних вод мають наукову та практичну цінність. Цей підхід дозволяє різко знизити водоємність виробництва промислової продукції та електроенергії, забезпечити населення якісною питною водою.

Вивчені процеси баромембранного очищення мінералізованих вод та розроблені методи попередньої стабілізаційної обробки води для підвищення терміну експлуатації мембран та зменшення затрат на очищення води, відкривають шляхи широкого використання нанофільтраційних та зворотньоосмотичних установок. Визначені параметри процесу та розроблена технологія ефективного пом'якшення мінералізованих вод при застосуванні синтезованих доступних алюмініймістких коагулянтів дозволяє значно скоротити затрати на очищення води, з подальшою переробкою даних осадів водоочищення в будівельній індустрії.

Розроблені процеси іонообмінного знесолення мінералізованих стічних вод. Метод іонообмінного розділення сульфатів та хлоридів з наступним очищенням води на зворотньоосмотичних установках дозволяє переробляти дані концентрати з утворенням цільових продуктів. Розроблена технологія реагентної переробки регенераційних розчинів дозволяє їх багаторазове використання, що дає можливість створити маловідходну технологію знесолення води зі значною економією коштів за рахунок повторного використання регенераційних розчинів.

Розроблено процеси електрохімічної переробки концентратів баромембранного очищення води та регенераційних розчинів з утворенням кислоти, лугу і розчинів для знезараження води, що дозволяє зменшити навантаження на навколишнє природне середовище та дає можливість використання утворених реагентів в якості цільових продуктів.

Одержані модифіковані біосорбенти можуть бути використані як фільтрувальні матеріали для дезактивації низькоактивних рідких відходів, концентрування цезію з кубових залишків атомних електростанцій з метою зменшення об'ємів твердих відходів та з водних об'єктів навколишнього середовища з подальшим аналітичним визначенням.

Застосування розроблених методів дозволяє одержувати модифіковані матеріали комплексної дії при відсутності необхідності зміни основного виробництва сорбентів, фільтрів комплексного очищення води, підземних та

поверхневих вод від іонів важких металів, полівалентних аніонів, вірусів та мікроорганізмів (зниженням вмісту іонів ряду металів на 93-98 % при очищенні води, ефективність знезараження на ≥ 97 %). Це сприятиме зниженню собівартості виробництва сучасних систем очищення та знезараження питної води та їх інтенсивному використанню у побуті людини.

Розроблені ефективні та прості методи розділення рідкої та твердої фаз з використанням матеріалів з капілярними властивостями дозволяють реалізовувати ефективно та низькозатратне очищення води.

У вступі обґрунтовується актуальність теми наукової роботи.

У першому розділі представлено аналіз наукової літератури за темою роботи, наведено огляд про сучасні методи демінералізації води, знезараження та переробку твердих та рідких відходів, що утворюються в процесі очищення води. Проаналізовано основні переваги і недоліки існуючих методів водопідготовки та очистки стічних вод. На основі проведеного аналізу літератури обґрунтовано вибір напрямку дослідження та визначені задачі.

У другому розділі наведено об'єкти та методи досліджень, представлено методики, охарактеризовано обладнання, що використовується. Обґрунтовано склад модельних розчинів.

У третьому розділі досліджені процеси баромембранного знесолення води. Для стабілізаційної обробки розчинів було проведено попереднє освітлення та фільтрування води через слабокислотний катіоніт в кислій формі, який забезпечує зниження рН до 3,0–4,5. Показано, що даний метод дозволяє підвищити ефективність процесу та збільшити термін експлуатації мембран. Це обумовлено насамперед частковою демінералізацією розчину та відсутністю карбонатних відкладень на мембрані. Концентрати, що утворюються при зворотньоосмотичному знесоленні води, характеризуються високим вмістом не лише сульфатів та іонів жорсткості, але і хлоридів.

Найпростішим способом коригування характеристик перміату, отриманого зворотнім осмосом, є змішування його з механічно очищеною вихідною водою. При об'ємних співвідношеннях вихідної води до перміату від 0,25 до 2,5 вода за визначеними показниками, відповідала вимогам до якості питної води. Іншим способом кондиціювання слабокислих перміатів є пропускання їх через катіоніти в сольовій формі. Показано, що при необхідності введення в воду Na^+ чи K^+ , краще використовувати сильнокислотні катіоніти в сольовій формі, а при необхідності введення в воду іонів жорсткості – краще використовувати слабокислотні іоніти у відповідній формі.

Для переробки та утилізації концентратів баромембранного очищення води в разі переважного вмісту сульфатів при низьких концентраціях хлоридів в слабосолоних природних, шахтних або інших стічних водах, переробка зводиться до вилучення з води сульфатів та іонів жорсткості при вапнуванні води в присутності високоосновних алюмінієвих коагулянтів. Недоліком даного методу є застосування дорогих високоосновних алюмінієвих коагулянтів. Тому були проведені дослідження по визначенню ефективності процесу демінералізації при заміні алюмінату натрію на алюмінат кальцію. Був розроблений спосіб отримання алюмінату кальцію при обробці технічного гідроксиду алюмінію вапном в присутності соди (табл.1).

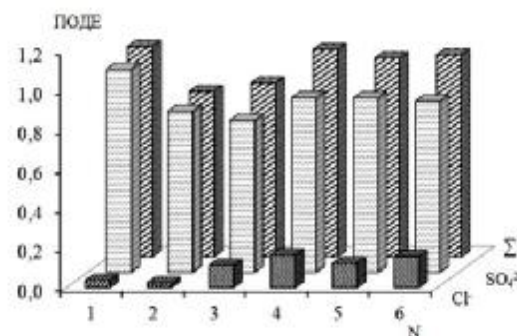
Таблиця 1 – Залежність ефективності очищення стічної води від витрати вапна і алюмінату кальцію, отриманого з вапна, гідроксиду алюмінію та соди

Доза CaO, мг-екв/дм ³	Доза Na[Al(OH) ₄] ммоль/дм ³	SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³		Ж, мг-екв/дм ³		Лужність (гідратна; загальна), мг-екв/дм ³		Ступінь пом'якшення, Z, %		Ступінь очищення SO ₄ ²⁻ , A, %	
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
127	3,6	360	300	7,0	2,2	10,0; 14,0	0,0; 12,0	83,3	94,7	72,3	79,6
127	4,5	250	205	2,0	1,7	9,5; 14,3	0,0; 11,9	95,2	96,0	80,8	84,2
127	5,4	155	140	1,5	1,5	7,9; 15,0	0,0; 12,6	96,4	96,4	88,1	89,2
143	3,6	190	155	23,6	4,4	24,5; 29,0	0,0; 16,4	43,8	89,5	85,4	88,1
143	4,5	180	165	17,4	2,9	17,5; 22,0	0,0; 13,7	58,6	90,7	86,2	87,3
143	5,4	165	135	9,6	2,2	28,5; 33,0	0,0; 17,0	77,1	94,7	87,3	89,6

I – без нейтралізації, II – нейтралізація вуглекислою

В роботі були проведені дослідження складу осадів, що утворюються при реагентному висадженні сульфатів, для розробки методів їх подальшої утилізації. Показано, що добавка осаду придатна для введення до складу цементу або клінкеру.

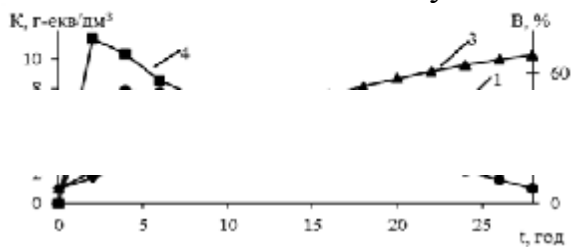
У четвертому розділі розроблені методи переробки концентратів баромембранного очищення води, які містять в значних концентраціях хлориди іони жорсткості та сульфати. Спосіб обробки води на високоосновному аніоніті в основній формі сприяє ефективному вилученню з води хлоридів та сульфатів з одночасним пом'якшенням води, за рахунок її підлужнення при іонному обміні. Результати підтверджувались при багаторазовому повторенні циклів сорбція-регенерація. Отримані при регенерації суміші хлориду та сульфату натрію доцільно переробляти електродіалізом з отриманням луѓу, сірчаної кислоти та активного хлору.



Сорбція на свіжому іоніті в OH⁻ формі – 1; після 1-ї регенерації – 2; 2-ї – 3; 3-ї – 4; 4-ї – 5; 5-ї – 6.

Рисунок 1 – Залежність ПОДС хлоридів (Cl⁻), сульфатів (SO₄²⁻) і сумарної (Σ) від кількості фільтроциклів N.

Для знесолення мінералізованих вод використано трикамерні електролізери з двома аніонними мембранами. При цьому жорсткість води знижується до 0,0–2,5 мг-екв/дм³. Залишкові концентрації хлоридів та сульфатів – до 70–80 мг/дм³. Встановлено параметри переробки пом'якшених та непом'якшених хлоридних концентратів електродіалізом з отриманням розчинів з окисленими сполуками хлору, придатних для знезараження води.



Концентрація сірчаної кислоти (1), луѓу (3); Вихід за струмом кислоти (2), луѓу (4)

Рисунок 2 – Характеристики процесу концентрування сірчаної кислоти та луѓу

Було проведено електроліз водних розчинів, що містять іони натрію та сульфати в двокамерних електролізерах (рис. 2). При проведенні електролізу кислотність аноліту вдалось підняти майже до 7,6 мг-екв/дм³, тобто було отримано 36% сірчану кислоту.

При проведенні електролізу розчину лугу в двокамерному електролізері з катіонною мембраною, було отримано розчин лугу з концентрацією понад 40%. В цілому, підвищення концентрацій лугу та кислоти до 40 % дозволяє продукти, отримані при переробці концентратів, використовувати не лише на даних станціях водопідготовки, але й транспортувати їх на інші підприємства.

У п'ятому розділі представлено результати дослідження умов отримання комбінованих біосорбентів на основі ЦВ та ЛЦ, модифікованих неорганічними нанокластерами. Наведено порівняльний аналіз властивостей комбінованих біосорбентів [ФЦ]М. Встановлено, що на стадії приготування вихідних модифікуючих суспензій (за однакових умов) утворюються [ФЦ]М різного складу (табл. 2). У випадку Fe^{3+} відбувається повне заміщення K^+ з утворенням [ФЦ]Fe вже на стадії приготування суспензії, в той час як за умов використання катіонів нікелю, кобальту, міді та цинку утворюються змішані солі [ФЦ]K-Ni, [ФЦ]K-Co, [ФЦ]K-Cu і [ФЦ]K-Zn. При подальшому застосуванні змішаних [ФЦ]K-Cu і [ФЦ]K-Zn в процесі модифікування ЦВ за підвищеної температури відбувається повне заміщення катіонів калію з утворенням [ФЦ]Cu і [ФЦ]Zn.

Таблиця 2 – Характеристика суспензій [ФЦ]М

Вихідна суспензія			Суспензія після модифікування	
Склад	Ідентифікована фаза	Розмір нанокластерів, нм	Ідентифікована фаза	Розмір нанокластерів, нм
$Fe^{3+}/K_4[Fe(CN)_6]$	$Fe_4([Fe(CN)_6])_3$	26	$Fe_4([Fe(CN)_6])_3$	26
$Co^{2+}/K_4[Fe(CN)_6]$	$K_2Co[Fe(CN)_6]$	33	$K_2Co[Fe(CN)_6]$	171
$Ni^{2+}/K_4[Fe(CN)_6]$	$K_2Ni[Fe(CN)_6]$	28	$K_2Ni[Fe(CN)_6]$	54
$Cu^{2+}/K_4[Fe(CN)_6]$	$K_2Cu[Fe(CN)_6]$	110	$Cu_2[Fe(CN)_6]$	340
$Zn^{2+}/K_4[Fe(CN)_6]$	$K_2Zn[Fe(CN)_6]$	8	$Zn_2[Fe(CN)_6]$	671

Модифікування ЦВ суспензіями [ФЦ]М на основі різних перехідних металів за однакових умов дозволяє одержати комбіновані біосорбенти з приблизно однаковим вмістом неорганічної складової на рівні 4%, які характеризуються різними сорбційними властивостями щодо цезію. За поглинаючою здатністю щодо ^{137}Cs , яку оцінювали за значенням коефіцієнту розподілу, отримані матеріали розташовані у такий ряд: ЦВ-[ФЦ]K-Ni (10^5 мл/г) \approx ЦВ-[ФЦ]K-Co (10^5 мл/г) $>$ ЦВ-[ФЦ]Cu (10^3 мл/г) \approx ЦВ-[ФЦ]Fe (10^3 мл/г) $>$ ЦВ-[ФЦ]Zn (10^2 мл/г).

Дослідження процесів сорбції ^{137}Cs (10^5 Бк/л) на комбінованих сорбентах ЦВ-[ФЦ]K-Ni і ЦВ-[ФЦ]K-Co з високосольових розчинів з загальною концентрацією 260 г/л, що імітують кубовий залишок атомної електростанції з водо-водяним енергетичним реактором, свідчать про високу ефективність одержаних матеріалів. Коефіцієнти розподілу цезію на зазначених зразках при цьому складають $2,94 \cdot 10^3$ і $7,15 \cdot 10^2$ мл/г відповідно. Результати дослідження кінетики сорбції показали, що вже за перші 5 хв контакту біосорбент поглинає близько половини іонів цезію, а сорбційна рівновага досягається через 20 хв.

В результаті модифікування ЛЦ суспензіями [ФЦ]М одержано комбіновані біосорбенти з вмістом неорганічної складової, який на 20 % вище вмісту того ж модифікатора в матеріалах ЦВ-[ФЦ]М, що є цілком закономірним з огляду на більшу на 50 % питому поверхню. Незважаючи на більший вміст неорганічної

складової, поглинаюча здатність ЛЦ-[ФЦ]М є дещо нижчою. В той час, як біосорбенти ЦВ-[ФЦ]К-Ni та ЦВ-[ФЦ]К-Co дозволяють на 99,9 % видалити цезій з водного розчину з активністю 10^5 Бк/л, ЛЦ біосорбенти на основі тих же змішаних солей характеризуються ефективністю вилучення ^{137}Cs , що не перевищує 98 %. Це пояснюється тим, що частина [ФЦ]М, яка знаходиться в порах ЛЦ-матриці, є недоступною для сорбції, отже є неактивною.

Дослідження властивостей біосорбентів, модифікованих ПС, показують, що введення до об'єму органічної матриці солей модифікатора у кількості лише 3 % від маси носія дозволяє одержати матеріали з високою сорбційною здатністю щодо іонів стронцію (питомий коефіцієнт розподілу становить 10^3 мл/г), за якою вони не поступаються таким неорганічним сорбентам як бентоніт, кліноптилоліт, синтетичні цеоліти.

У шостому розділі визначено методи розрахунку продуктивності капілярних фільтрів та швидкості транспортування рідини. Доведено, що на основі капілярних явищ можливо реалізувати процеси розділення рідкої і твердої фаз та очищення води. Наведені результати оцінки ефективності процесів зневоднення твердої фази гідрофільних осадів скопу – осаду, що

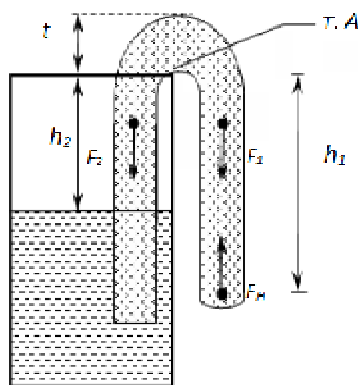


Рисунок 3 – Схема до розрахунку основних параметрів транспортування рідини капілярними матеріалами

утворюється при очищенні стічних вод паперових виробництв та активного мулу, надлишок якого утворюється при біологічному очищенні води. Встановлено, що процес фільтрування проходить досить повільно, а залишкова вологість залишається на рівні 97 %. Практично жоден із досліджених флокулянтів не забезпечував залишкового вмісту твердої фази на рівні менше $350 - 450 \text{ мг/дм}^3$. Підвищення ефективності фільтрування спостерігається лише при зниженні рН середовища до 2,5 внаслідок зміни поверхневого заряду в частках твердої фази. Розділення рідкої та твердої фаз капілярними матеріалами відбувається досить інтенсивно. Вміст твердих часток у відфільтрованій рідині не перевищував 15 мг/дм^3 , що є найкращим результатом для всіх досліджених випадків. Одночасно знижувалась залишкова вологість твердої фази до 96,0 – 97,3 %. Вивчені процеси відділення осадів неорганічного походження від маточного розчину. Досліджено суспензії сполук кальцію і магнію в розчинах для регенерації іонітових фільтрів. Встановлено, що при застосуванні процесів з використанням матеріалів з капілярними властивостями концентрація твердої фази значно менше впливає на термін розділення, ніж у випадку використання фільтрувального паперу.

У сьомому розділі представлено результати дослідження умов отримання модифікованих плазмохімічно одержаними наночастками срібла сорбентів на основі оксигідроксидів металів та полімерних фільтрів для комплексного очищення та знезараження питної води. Встановлено вплив умов одержання нанодисперсій срібла на фізико-хімічні та антимікробні властивості нанодисперсій срібла. Встановлено умови одержання модифікованого сорбенту на основі цирконію та алюмінію оксигідроксидів з домішками наночасток Ag^0 :

вихідні солі металів хлориди з $n_{Zr}:n_{Al} = 1:3$; джерело срібла – золь Ag^0 - AlgNa, $C(Ag^0)=0,5$ г/л, $C(AlgNa)=5$ г/л, тривалість плазмохімічної обробки 5 хв., мольна частка Ag^0 в кінцевому продукті 0,125 мол.%. Встановлено, що одержані сорбенти більш ефективні для одночасного очищення (на 90%) та знезараження (на 80 %) питної води. Встановлено, що введення домішки Ag^0 - AlgNa в золі метал оксигідроксидів одержаних в результаті гідролізу карбаміду сприяє появі піку характерного для наночасток металевого срібла про що свідчать дані рентенофазового та ІЧ спектрів. Властивості сорбентів на основі цирконію та алюмінію оксигідроксидів модифікованих домішками Ag представлено в табл. 3. Одержаний сорбент характеризується розвиненою мезопоруватою структурою (питома поверхня 322 м²/г, діаметр пор 5,3 нм) та міцністю гранул в 15,7 МПа. Наявність в структурі на ряду с метал оксигідроксидами наночасток срібла дозволяє очистити воду як від неорганічних, так і мікробіологічних домішок до рівня встановленого ВОЗ.

Таблиця 3 – Властивості сорбентів на основі цирконію та алюмінію оксигідроксидів модифікованих плезмохімічно одержаними наночастками Ag

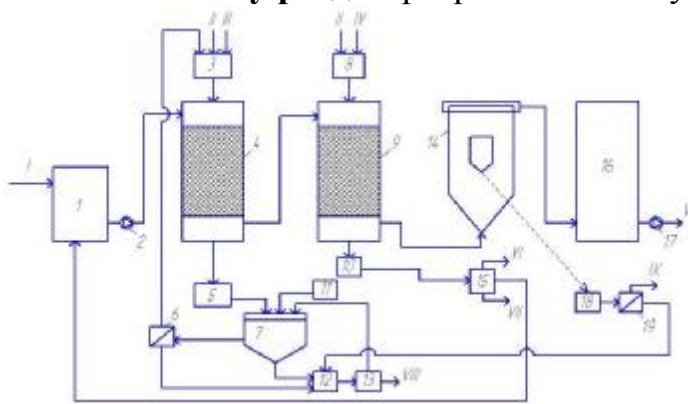
Характеристика	Вихідні солі			
	Zr-Cl		Zr-Al-Cl	
	без	з Ag^0	без	Ag^0
Форма	гран.	гран.	гран.	гран.
Переважний розмір, мм	1-2	1-2	1-2	1-2
Масова частка вологи, %	20	18	18	16
Насипна густина, г/см ³	1,28	1,22	0,98	0,91
Міцність гранул, МПа	19,2	6,9	40,5	15,7
Питома поверхня, м ² /г	330	176	537	322
Середній діаметр пор, нм	2,4	6,2	2,1	5,3
Об'єм пор, $V \cdot 10^6$, м ³ /г	0,198	0,123	0,227	0,178

Шляхом інкапсулювання попередньо плазмохімічно сформованих дисперсій срібла методом гелеутворення одержано та досліджено композитний полімерний фільтруючий матеріал – альгінат натрію/НЧ Ag з високими показниками антимікробної дії (91,0–98,6%) при низьких концентрація срібла в складі матеріалу-носія (0,3%).

Встановлено ефективність використання плазмохімічної обробки для знешкодження

стічних вод гідрометалургійних виробництв. Ступінь знешкодження становить 100% за 10 хв обробки.

У восьмому розділі розроблено схему демінералізації води (рис.4).



1 – резервуар шахтних вод (концентратів, стічних вод); 2, 15 – насоси; 3, 10 – витратні баки; 4 – аніонообмінний фільтр (АВ-17-8); 5 – приймальний резервуар відпрацьованих регенераційних розчинів; 6 – стрічковий фільтр; 7 – резервуар-відстійник; 8 – зворотньоосмотична установка; 9 – приймальний резервуар концентратів; 11 – шламосховище;

12 – шнековий фільтр-прес; 13 – електролізер; 14 – резервуар освітленої води

I – подача шахтної (стічної) води (концентрату); II – подача води; III – подача хлористого натрію; IV – подача води до споживача; V – хлормісткий розчин для дезинфекції води та інших середовищ; VI – осад на переробку

Рисунок 4 – Принципова схема демінералізації шахтних (стічних) вод (концентратів)

Принципова схема очищення мінералізованих стічних вод в залежності від їх вихідних характеристик дозволяє отримувати прісну та знесолену воду. Схема передбачає вилучення сульфатів у вигляді гіпсу на стадії аніонування. Іони жорсткості та хлориди видаляються на зворотньоосмотичній установці. Концентрати, що містять хлорид натрію, використовуються для отримання дезінфікуючих розчинів електродіалізом в двокамерних електролізерах. Осади використовуються як будівельні матеріали.

ВИСНОВКИ

1. Необхідність вирішення екологічних проблем, пов'язаних з забрудненням біосфери полутантами різного походження, зумовлює необхідність розробки нових високоефективних методів водопідготовки та очищення стічних вод для створення комплексних маловідходних технологій демінералізації.

2. Розроблено методи попередньої обробки води перед її знесоленням на баромембранних установках. Розроблено реагентні методи переробки концентратів, що дозволяють видалити понад 90 % сульфатів та іонів жорсткості з подальшою утилізацією утворених осадів в будівельні матеріали. Розроблено методи демінералізації концентратів, що містять в значних концентраціях хлориди, сульфати та іони жорсткості, що базуються на застосуванні високоосновного аніоніту в OH^- формі. Іншим методом їх переробки є попереднє розділення хлоридів і сульфатів на аніоніті в Cl^- формі, що дозволяє методом електродіалізу отримувати розчини з окисленими сполуками хлору, придатні для дезінфекції води.

3. Вивчено процеси демінералізації концентратів з високим вмістом іонів жорсткості в трикамерних електролізерах з двома аніонними мембранами МА-41. Розроблено методи концентрування розчинів лугу та кислоти в двокамерних електролізерах до 40 %.

4. Розроблено та запатентовано спосіб одержання модифікованих біосорбентів на основі рослинних компонентів з високою сорбційною здатністю щодо радіонуклідів цезію та стронцію, які можуть бути використані в якості фільтрувальних матеріалів для промислового використання з метою дезактивації низькоактивних водних розчинів.

5. В результаті досліджень було встановлено основні закономірності застосування капілярних матеріалів в процесах очищення води та зневоднення осадів різного походження.

6. Розроблено способи одержання сорбентів та фільтрів, модифікованих плазмохімічно одержаними наночастками срібла які можуть бути використані для комплексного очищення та знезараження питної води, підземних та поверхневих вод від іонів важких металів, полівалентних аніонів, вірусів та мікроорганізмів.

7. Вивчені технологічні процеси дозволили створити маловідходні технології демінералізації води в залежності від її початкового складу та вимог до її якості. Застосування інноваційних технологій дозволяє досягти значного техніко-економічно-екологічного ефекту, який відповідає вимогам, що висуваються до сучасних технологій для забезпечення екологічної безпеки.

Результати роботи впроваджені: навчальний процес кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» та кафедри технології неорганічних речовин та екології ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет». Результати роботи доповідались та обговорювались на міжнародній конференції (м. Краків, Республіка Польща) в рамках Swedish-Polish-Ukrainian cooperation project "Future urban sanitation to meet new requirements for water quality in the Baltic Sea region"; в університеті OWL University of Applied Sciences, (м. Хекстер, Німеччина) в рамках проекту «Water Harmony. Erasmus+»; в університеті Ca' Foscari University of Venice (м. Венеція, Італія) та в університеті Technical University in Zvolen (м. Зволен, Словаччина) в рамках програми «ECONANOSORB».

Результати досліджень отримали широку підтримку серед вітчизняних підприємств в виробничому циклі яких присутні стадії водопідготовки, водоочищення та переробки твердих та рідких відходів НПО «Аквахімтехнології», ДП «Східний Гірничо-збагачувальний комбінат», ВАТ Хлібокомбінат «Кулиничі», ТОВ «БВТ Україна», ТОВ "Донецьк-Вторма", Бортницькій станції аерації, ТОВ"Ферреспо-Гідромет", центру Держсанепідемслужби України, ТОВ «МЕНДЕЛЄЄВ ЛАБ», ТОВ Бердянські ковбаси, ТОВ Дніпроолія, ПрАТ «Дніпропетровський хлібозавод №9», ТОВ «Кальцеструм», ТОВ «ІВІК ФОРМУЛА ВОДИ».

Економічна ефективність розроблених методів та технологій підтверджена відповідними розрахунками наданими ТОВ Бердянські ковбаси, ТОВ «Дитятки», ТОВ «Кальцеструм».

Загальна кількість публікацій: 227 наукових праць, з яких 69 статей у наукових фахових та закордонних виданнях, 23 патенти України на корисну модель, 130 тез доповідей міжнародних, національних, регіональних наукових конференціях, 3 монографії, 2 навчальні посібники. Загальна кількість публікацій у міжнародних журналах з ненульовим імпаکت-фактором 12, в т.ч. за темою роботи 8. h-індекс = 8

_____	/ І.М. Трус /
(підпис)	
_____	/ В.В. Галиш /
(підпис)	
_____	/ М.І. Скиба /
(підпис)	
_____	/ Я.В. Радовенчик /
(підпис)	