

**Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Сумський державний університет**

ІВЧЕНКО ВІКТОРІЯ ДМИТРІВНА

УДК 504.5:628.3

**ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ І ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ВІД ІОНІВ АМОНІЮ
ТА ФЕРУМУ ГЛИНИСТИМИ МІНЕРАЛАМИ СУМСЬКОЇ ОБЛАСТІ**

21.06.01 – екологічна безпека

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Суми – 2012

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі хімії Сумського національного аграрного університету Міністерства аграрної політики та продовольства України

Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент

Большаніна Світлана Борисівна,
Сумський державний університет,
в.о. завідувача кафедри загальної хімії

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Гомеля Микола Дмитрович,
Національний технічний університет
України «Київський політехнічний інститут»,
завідувач кафедри екології та технології
рослинних полімерів;

доктор технічних наук, професор
Мельник Людмила Миколаївна,
Національний університет харчових
технологій, професор кафедри процесів і
апаратів харчових виробництв

Захист відбудеться «29» червня 2012 р. о 14.00 на засіданні спеціалізованої вченої ради **К 55.051.04** в Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, корп. Ц, ауд 204

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Сумського державного університету за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2

Автореферат розіслано «26» травня 2012 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Д.О. Лазненко

ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Екологічно безпечне водокористування передбачає збалансований вплив господарської діяльності людини на стан водних ресурсів з метою мінімізації втручання в природні процеси розвитку водних екосистем. Проблеми, пов'язані із впровадженням нових технологій з метою раціонального використання водних ресурсів та очищення стічних вод, є без сумніву надзвичайно актуальними.

Сучасні масштаби забруднення водою внаслідок скидання недостатньо очищених господарсько-побутових та виробничих вод значно перевищують їх спроможність до самоочищення. Неефективна робота очисних споруд населених пунктів щорічно призводить до потрапляння у поверхневі води надмірних кількостей іонів амонію, що провокує незворотні зміни у функціонуванні водних екосистем за рахунок евтрофікаційних процесів. Для регіонів з високим природним фоном по вмісту Феруму загального, таких як Сумська область, особливо критичними є надходження у водоїми наднормових викидів сполук Феруму зі стічними водами і шламами виробничих підприємств. Акумуляція цих сполук в організмі негативно позначається на життєво важливих функціях гідробіонтів. Крім того, високий вміст Феруму унеможливує використання води в ряді технологічних процесів. Вирішення цих питань вимагає впровадження екологічно безпечних, ефективних і водночас економічно доцільних технологій мінімізації вмісту у воді сполук амонію та Феруму. Виходячи з актуальності окресленої проблеми, дану роботу присвячено підвищенню рівня екологічної безпеки у водокористуванні за рахунок розробки і впровадження технології адсорбційного очищення вод із наднормовим вмістом іонів амонію та Феруму з використанням дешевих і доступних місцевих глинистих сорбентів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Проведення досліджень зумовлене необхідністю реалізації державної програми «Про концепцію розвитку водного господарства України» (Постанова Верховної Ради України від 14 січня 2000 року N 1390-XIV). Дисертаційна робота виконана згідно з планом науково-дослідної роботи кафедри хімії Сумського національного аграрного університету з проблеми «Використання природних дисперсних сорбентів Сумської області в технологіях очищення води» (№ державної реєстрації 0109 U 003232).

Мета і задачі дослідження. Мета роботи полягає у підвищенні рівня екологічної безпеки шляхом розроблення технології адсорбційного очищення стоків і вод систем зворотного водопостачання від сполук амонію та Феруму місцевими природними глинистими сорбентами.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити такі завдання:

- оцінити ступінь екологічної небезпеки від забруднення поверхневих вод Сумської області сполуками амонію та Феруму, визначити джерела

надходження стоків, які в найбільшій мірі визначають екологічну небезпеку, та встановити об'єкти, що чинять найбільший техногенний тиск на водні екосистеми;

- дослідити структуру, мінералогічний та хімічний склад використовуваних глинистих порід з метою прогнозування їх сорбційної спроможності;
- вивчити особливості адсорбції іонів амонію та Феруму місцевими глинистими сорбентами, ідентифікувати експериментальні дані теоретичним моделям адсорбції та встановити значення констант в рівняннях ізотерм адсорбції;
- встановити можливість підвищення сорбційної ємності глинистих порід за рахунок застосування хімічної активації;
- визначити раціональні режимні параметри ведення процесу адсорбції в статичних умовах, розробити математичну модель процесу масоперенесення в системі «рідина – тверде тіло» для реактора ідеального перемішування та перевірити її на адекватність;
- запропонувати інженерну методику розрахунку раціональних робочих параметрів адсорбційного реактора перемішування;
- розробити апаратурно-технологічну схему очищення стічних вод від іонів амонію та Феруму й оцінити ступінь економічної доцільності використання адсорбційного очищення стічних вод місцевими глинистими породами;
- запропонувати екологічно безпечний спосіб утилізації відпрацьованих сорбентів.

Об'єкт дослідження – екологічна небезпека, яка формується в процесі надходження в поверхневі води стоків, що містять наднормові кількості іонів амонію та Феруму.

Предмет дослідження – закономірності адсорбції з водних середовищ іонів амонію та Феруму місцевими глинистими мінералами (на прикладі глинистих родовищ Сумської області).

Методи дослідження. Експериментальні дослідження проводили із застосуванням методів: фотоколориметрії, титриметрії, рентгенівської дифрактометрії, растрової електронної мікроскопії з функцією рентгенівського мікроаналізу, математичного моделювання та статистичної обробки отриманих результатів з використанням пакетів програм Microsoft Excel, Digimizer 3.0.5.0, Harvard ChartXL 3.0.

Наукова новизна одержаних результатів. У результаті комплексного теоретичного і експериментального дослідження процесу адсорбційного очищення вод від іонів амонію та Феруму природними глинистими мінералами родовищ Сумської області, вперше:

- проведено комплексну оцінку рівня екологічної небезпеки від забруднення поверхневих вод Сумської області сполуками амонію та Феруму;

- на основі ресурсо-сировинної бази глинистих мінералів підібрано перспективні сорбенти з шести родовищ Сумської області для водоочисних технологій, вивчено їх структуру, мінералогічний та хімічний склад;
- встановлено особливості адсорбції іонів амонію і Феруму досліджуваними глинистими мінералами та ідентифіковано отримані експериментальні дані теоретичним моделям адсорбції в системі «тверде тіло- рідина», встановлено константи в рівняннях ізотерм адсорбції;
- визначено раціональні параметри адсорбції іонів амонію та Феруму із стічних вод природними сорбентами Сумської області;
- розроблено математичну модель масоперенесення в системі «рідина – тверде тіло» при адсорбції в статичних умовах.

Практичне значення одержаних результатів. На основі отриманих результатів досліджень розроблено технологію адсорбційного очищення води для промивки пасти гідрату диоксиду титану (ГДТ) від солей сульфату феруму, що використовується при виробництві диоксиду титану пігментного з ільменітового концентрату. Дану технологію рекомендовано для створення замкненої системи промивних вод на етапі «білої» фільтрації пасти ГДТ з метою зменшення водовитрат і уникнення забруднення поверхневих водоем.

Отримані кінетичні залежності масоперенесення в системі «рідина-тверде тіло» передано Охтирському державному підприємству «Водоочистка» ТОВ «Водоторгприлад» для використання в проектній документації на промисловій очисній установці. Розроблено апаратурно-технологічну схему адсорбційного очищення вод, забруднених сполуками амонію та Феруму. Запропоновано способи утилізації відпрацьованих сорбентів. Очікуваний економічний ефект від впровадження розробленої технології адсорбційного очищення зворотних вод у виробництві титанового пігменту на підприємстві продуктивністю в 40 тис. т/рік складе 119 600 грн.

Особистий внесок здобувача полягає в проведенні експериментальних досліджень, обробці отриманих результатів та їх аналізі; встановленні характеристик структурного, мінералогічного та хімічного складу використовуваних сорбентів; знаходженні кінетичних залежностей з метою розрахунку адсорбційного обладнання для технологій очищення стоків від сполук амонію та Феруму; проведено ідентифікацію експериментальних даних теоретичним моделям; розроблено апаратурно-технологічну схему процесу адсорбційного очищення вод, забруднених сполуками амонію та Феруму; формулюванні основних положень та висновків. Постановка завдань та їх обговорення проводились під керівництвом кандидата технічних наук, доцента, в.о. завідувача кафедри загальної хімії Сумського державного університету Большаніної Світлани Борисівни. Внесок автора у роботах, опублікованих у співавторстві, наведено в списку публікацій за темою дисертації.

Апробація результатів роботи. Основні положення та результати роботи були представлені на щорічних науково-практичних конференціях викладачів, аспірантів та студентів Сумського національного аграрного університету (2008, 2011 рр.); XII Міжнародній науково-технічній конференції „Екологія і здоров’я людини. Охорона водного та повітряного басейнів. Утилізація відходів”, (м. Алушта, 2005); Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених „Аграрний форум-2007”, (м. Суми, 2007); XV та XVIII Міжнародних науково-технічних конференціях “Екологічна та техногенна безпека. Охорона водного та повітряного басейнів. Утилізація відходів”, (м. Бердянськ, 2007,2010); V науково-практичній конференції «Вплив руйнівних повеней, паводків, небезпечних геологічних процесів на функціонування інженерних мереж та безпеку життєдіяльності», (м. Яремче, 2009); XVI Російському симпозиумі з растрової електронної мікроскопії і аналітичних методів дослідження твердих тіл (РЭМ-2009) (м. Черноголовка Московської обл., 2009); Всеукраїнській міжвузівській науково-технічній конференції, (м. Суми, 2010).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 14 наукових праць: 5 статей, з них 4 у фахових виданнях, 1 стаття у інших збірниках, 9 тез доповідей.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Матеріали дисертаційної роботи викладені на 216 сторінках загального тексту, включаючи 20 таблиць та 62 рисунки (з них 20 повністю займають площу сторінки), 152 позиції списку використаних джерел (на 16 сторінках) та 5 додатків (на 42 сторінках).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано її мету та задачі, наукову новизну, практичне значення одержаних результатів.

Перший розділ присвячено аналізу впливу техногенної діяльності людини на екологічний стан поверхневих вод. Розглянуто природні та антропогенні шляхи надходження сполук амонію і Феруму у водойми, їх шкочинний вплив на гідробіонтів. Наведено огляд сучасних методів очищення стоків від сполук амонію і Феруму та наголошено на актуальності застосування сорбційних методів із використанням природних мінеральних сорбентів. Проаналізовано ресурсний потенціал глинистих мінералів Сумщини з метою використання їх як сорбентів. Охарактеризовано вплив мінерального складу та особливостей кристалічної структури глин на їх адсорбційні властивості.

У другому розділі описано об'єкт та методи дослідження. Представлено загальну схему проведення теоретичних і експериментальних досліджень. Приведені методики: оцінки екологічного стану поверхневих вод; дослідження структури та складу використовуваних глинистих сорбентів; експериментального дослідження процесів адсорбції іонів амонію та Феруму; кількісного аналізу вмісту цих іонів у розчині; хімічного модифікування сорбентів; математичного моделювання процесу масоперенесення в системі «рідина – тверде тіло». Проведено оцінку ймовірних похибок обробки отриманих експериментальних результатів, перераховано прилади, що використовувалися для вимірювання фізичних величин.

У третьому розділі наведено аналіз екологічної небезпеки від забруднення поверхневих вод Сумської області сполуками амонію та Феруму. З цією метою проведено орієнтовну еколого-гігієнічну оцінку якості поверхневих вод Сумської області шляхом розрахунку екологічних індексів за 25 показниками, згрупованими в 5 блоків. За величинами індексів встановлено належність води до певного класу якості, категорій та субкатегорій. Виявлено, що всі досліджувані водні об'єкти мають підвищені показники біологічного споживання кисню за 5 діб (БСК₅), високу жорсткість, за вмістом забруднюючих речовин хімічної природи переважають фосфати, сполуки амонію, нітрати та нітроти, серед металів домінуючим забрудником є Ферум.

Проведено статистичний аналіз вмісту амонію та Феруму загального у пробах води на контрольних створах, розташованих вздовж течії рік Сула, Псел, Ворскла, Десна та їх притоках протягом 2002 - 2010 рр. та порівняно показники аналітичного контролю з нормами ГДК (NH₄⁺) – 0,5 мг/дм³ і ГДК Fe_{заг} – 0,1 мг/дм³. Встановлено максимальну концентрацію амонію в басейні р. Ворскла у 2003, 2009 і 2010 рр. та р. Псел у 2010 р в межах 2,96 – 4,22 мг/дм³. Найвищий вміст сполук Феруму загального зафіксовано в період 2002 – 2004 рр. у водах басейну р. Псел, та у річках Ворскла і Десна у 2003 році. В інші роки вміст сполук Феруму коливався в інтервалі 0,14 – 0,49 мг/дм³.

Встановлено, що у 2010 році сумарно в поверхневі води з території області внесено близько 7,4 тис. т амонію та 885 т сполук Феруму понад фоновий вміст. Розрахована величина збитків, заподіяних державі внаслідок скидання у водні об'єкти Сумщини понаднормових кількостей амонію у 2010 році, склала 336 775 грн та іонів Феруму - 181509 грн.

У четвертому розділі представлено результати дослідження структури, складу та адсорбційних характеристик глинистих мінералів.

Як сорбенти було відібрано 6 зразків глинистих порід з родовищ Сумської області: с. Вільшана Недригайлівського району (зразок № 1),

с. Степанівка Сумського району (зразок № 2), с. Руднівка Сумського району (зразок № 3), с. Стецьківка Сумського району (зразок № 4), с. Вошилиха Роменського району (зразок № 5), с. Полошки Путивльського району (зразок № 6) (таблиця 1).

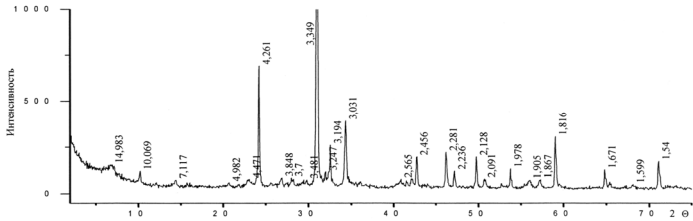
Таблиця 1 – Хімічний склад глинистих сорбентів, %

Зразок адсорбента	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	в.п.п.
№ 1	65,92	21,13	4,14	0,72	0,33	—	7,72
№ 2	75,39	7,34	1,95	4,9	4,9	—	5,60
№ 3	63,22	18,24	7,0	2,68	0,82	1,27	7,65
№ 4	51,49	30,7	0,29	1,09	0,07	—	11,29
№ 5	76,2	12,2	5,08	2,4	1,03	0,6	3,14
№ 6	44,48	23,84	0,15	0,42	0,03	0,25	0,72

За геологічною класифікацією досліджувані зразки глинистих порід відносяться до четвертинних відкладень еолово-делювіального та алювіального генезису. Досліджені органолептичні показники порід дозволили попередньо класифікувати їх як важкі суглинки.

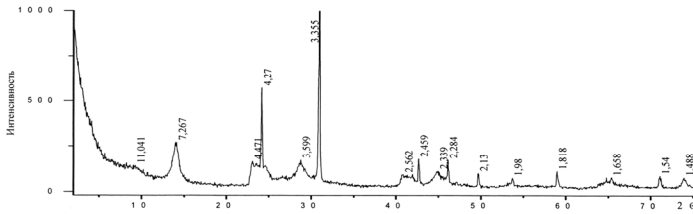
Дослідження гранулометричних характеристик зразків показало, що переважаючою фракцією (в середньому 85 %) для всіх порід стали дрібні включення розміром менш, ніж 1 мм. За характеристиками мікроструктури зерен найдрібнішої фракції ($d = < 0,25$ мм) встановлено, що найбільш крупні агрегати кварцу та глинистих мінералів спостерігалися в зразках №№ 1 та 3, де середній розмір таких частинок відповідно становив від 11 мкм, до 36 мкм. Найменший розмір зерен спостерігався у зразках №№ 6 та 4 (6,4-7,6 мкм).

Отримані дифрактограми показали, що спільним для всіх досліджуваних порід є високий вміст α -Кварцу (серія рефлексів на дифрактограмах d/n 4,27; 4,261; 3,355; 3,349; 3,344; 2,459; 2,456; 2,284; 2,281; 2,238; 2,236; 2,13; 2,128; 2,126; 1,978; 1,818; 1,816; 1,671; 1,669; 1,657; 1,599; 1,54; 1,539) (рис. 1, 2). У зразках з номерами 1, 2, 3, виявлено вміст монтморилоніту ($(Mg,Ca)O \cdot Al_2O_3 \cdot 5SiO_2 \cdot nH_2O$ (d/n 14,983; 14,662; 14,456; 4,982; 4,48; 4,471). А для зразків №№ 4 і 6, характерним є наявність каолініту $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, серія рефлексів d/n 7,267; 7,319; 4,471; 3,599; 3, 575; 2, 562; 2, 339; 1,98; 1,658; 1,54; 1,488. В складі порід №№ 1, 2, 3, 5 зустрічаються польові шпати, а також слюда, кальцит, доломіт, амфіболіт.



1

Рисунок 1 — Дифрактограма сорбенту № 13 вмістом монтморилоніту



6

Рисунок 2 — Дифрактограма сорбенту № 6 з вмістом каолініту

Результати фазового рентгеноструктурного аналізу зразків сорбентів представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 — Мінеральний склад глинистих сорбентів

Мінерал	Вміст мінералів у зразках, %					
	№ 1	№2	№3	№4	№5	№6
α-Кварц	60	65	65	75	70	50
Монтморилоніт	15	10	12	—	5	3
Каолініт	5	—	5	20	3	40
Польовий шпат	10	8	8	3	8	—
Слюда	5	5	5	3	5	2
Кальцит	10	5	5	—	5	—
Доломіт	—	5	—	—	—	—
Амфіболіт	—	—	—	—	5	—

Дослідження поверхні показало, що зразки сорбентів відносяться до глинистих порід із скелетною мікроструктурою, складеною з характерних для суглинків піщано-пилувато-глинистих частинок. Скелет породи формують зерна первинного мінералу – α-кварцу. Частинки глини накопичуються на поверхні зерен кварцу у вигляді суцільного покриття чи окремих острівків або скупчуються на контактах піщаних і пилуватих зерен. За формою та

розмірами мікрокристалів ідентифікували окремі мінерали. Отримані РЕМ-зображення поверхонь зразків дозволили розділити їх на дві групи: для зразків №№ 1, 2, 3 і 5 більш характерними виявилися агрегати кварцу з нерівномірно розподіленим глинистим матеріалом, представленим переважно монтморилонітом та гідрослюдою. Другу групу глинистих порід склали зразки №№ 4 та 6, в структурі яких візуально визначається мінерал каолініт, лусочки якого нагадують тонкі шестигранні пластинки розміром близько 2,5 мкм, що прикріплюються до поверхні базової породи – кварцу (рис. 3).

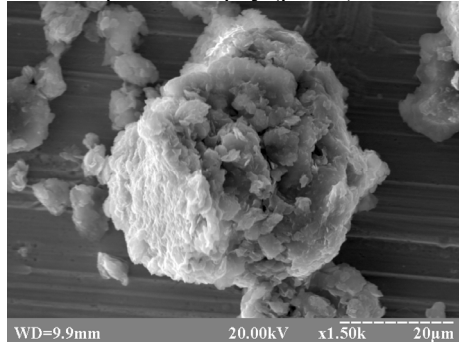
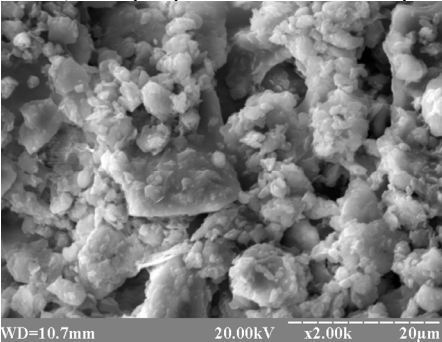


Рисунок — 3 РЕМ-зображення глинистої породи: ліворуч - зразка № 3; праворуч - зразка № 6

Перевірено правильність ідентифікації мінералів за допомогою серії мікроаналізів елементного складу у локальних точках на поверхні мікрочастинок та усереднений аналіз вмісту хімічних елементів з поверхні агрегатів (рис.4).

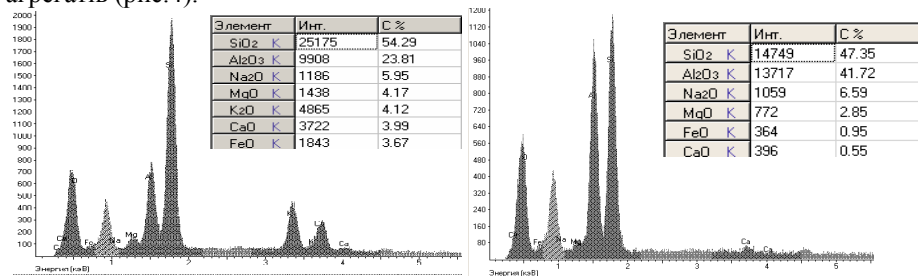


Рисунок 4 — Спектрограми частинок: ліворуч - монтморилоніту (зразок № 1); праворуч - каолініту (зразок № 6)

Як відомо, монтморилонітові глини мають будову шаруватих силікатів зі структурним осередком, що розширюється. Це забезпечує високу здатність до гідратації та іонного обміну. Жорстка кристалічна структура каолініту характеризується щільними фазовими контактами кристалізаційної

і цементаційної природи, що обумовлює їх міцність і незначну пористість. Така мікроструктура не дозволяє молекулам води та обмінним катіонам проникати в міжшарові проміжки, що є причиною низької адсорбційної здатності каолінітових глинистих мінералів.

Процес адсорбції досліджено на експериментальній установці, в яку заливали модельний розчин (сіль амонію чи Феруму (II) відповідної концентрації), додавали наважку глинистої породи і перемішували при температурі 20 °С і кількості обертів мішалки – 50 за хвилину. Вміст іонів Fe^{2+} в модельному розчині $FeSO_4$ становив від 0,035 до 0,35 г/дм³. Модельний розчин NH_4Cl містив іони NH_4^+ в концентрації від 0,18 до 18 г/дм³. Співвідношення «адсорбент : розчин» складало від 1:2 до 1:20. Тривалість процесу адсорбції від 1 до 20 хвилин. Залишкові концентрації досліджуваних іонів у фільтраті після закінчення процесу адсорбції визначали фотоколориметричним способом за стандартними методиками.

Дослідження, які проводилися з ціллю встановлення оптимальних значень параметрів адсорбції, показали:

- 1) оптимальне співвідношення кількостей адсорбенту та розчину адсорбтиву має знаходитися у межах $T:P=1:10$;
- 2) оптимальна тривалість контакту «адсорбент–розчин» складає 5 – 6 хвилин.

За отриманими експериментальними даними будували ізотерми адсорбції $A = f(C)_{t=const}$. Інтерпретацію результатів проводили відносно ізотерм Ленгмюра та Фрейндліха. Сорбційну ємність використовуваних зразків глинистих порід визначали як максимальну адсорбцію A_{max} , що відповідає повному заповненню поверхні шаром адсорбату.

Ізотерми адсорбції амонію досліджуваними зразками глинистих порід (рис.5) показали вищу активності сорбентів з переважанням монтморилітової складової, в порівнянні з породами, що містять каолініт.

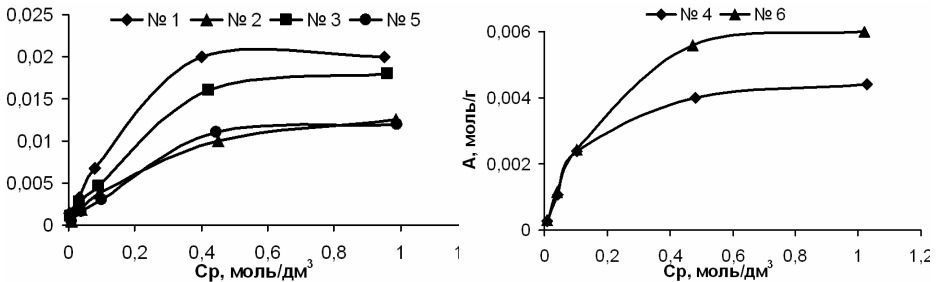


Рисунок 5 — Ізотерми адсорбції іонів амонію глинистими сорбентами: ліворуч - зразки з вмістом монтморилоніту; праворуч – зразки з вмістом каолініту

Отримані графічним методом коефіцієнти в рівняннях Фрейндліха та Ленгмюра (таблиця 3) характеризують процеси сорбції іонів NH_4^+ на

природних глинистих мінералах. Найкращі адсорбційні властивості серед досліджуваних глинистих сорбентів проявив зразок № 1, задовільні сорбційні якості демонструють зразки №№ 2, 3, 5, а сорбційна ємність зразків №№ 4 та 6 майже втричі нижча в порівнянні із зразком № 1.

Таблиця 3 — Коефіцієнти в рівняннях ізотерм для процесів адсорбції іонів амонію на глинистих сорбентах

Зразок адсорбента	Рівняння Ленгмюра			Рівняння Фрейндліха		
	A_{MAX} , моль/г	k	R^2	β , моль/г	1/n	R^2
№ 1	0,0277	4,2	0,99	0,0250	0,5304	0,97
№ 2	0,0165	3,23	0,99	0,0182	0,7341	0,99
№ 3	0,0176	5,48	0,95	0,0207	0,5734	0,98
№ 4	0,0094	5,77	0,98	0,0102	0,7425	0,97
№ 5	0,0159	2,76	0,99	0,0178	0,7642	0,98
№ 6	0,0111	4,02	0,99	0,0108	0,7406	0,98

Дослідження ізотерм дозволяють зробити висновок про механізми адсорбції. Так, для іонів амонію процес відбувається по типу фізичної адсорбції, де поряд з дисперсійними взаємодіями може частково реалізуватися і хімічна сорбція за рахунок утворення водневих зв'язків з поверхнею адсорбентів.

Побудовані за експериментальними даними ізотерми адсорбції іонів Феруму для зразків №№ 1, 2, 3, 5 в області низьких концентрацій перетинаються з віссю ординат. Такий тип залежностей класифікується як Н – ізотерми і свідчить про високу спорідненість адсорбату до адсорбенту. Ізотерми зразків сорбентів №№ 4, 6 за формою класифікуються як класична L-ізотерма (рис.6).

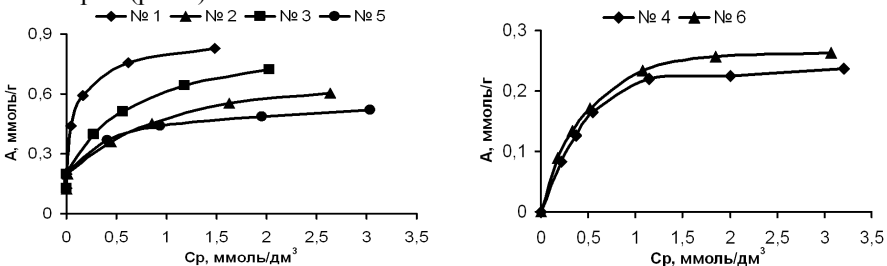
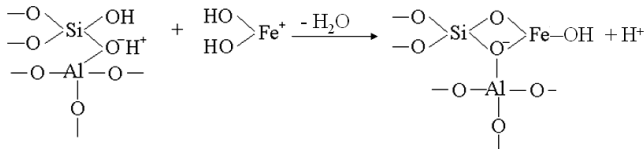


Рисунок 6 — Ізотерми адсорбції іонів Феруму глинистими сорбентами: ліворуч - зразки з вмістом монтморилоніту; праворуч – зразки з вмістом каолініту

Ймовірно адсорбція іонів Феруму на більшості зразках протікає за механізмом хімічної сорбції. В процесі контакту контакту суспензії «адсорбент-розчин» з киснем повітря відбувається часткове окиснення іонів Феруму (II) за рівнянням реакції: $H_2O + 0,5O_2 + 2Fe^{2+} \rightarrow 2Fe^{3+} + 2OH^-$.

В подальшому взаємодія між іонами Феруму та гідроксильними іонами кремнекисневих тетраедрів, що утворюють 2-х 3-х шарові пакети в глинистих мінералах, за можливою схемою:



Не виключена наявність фізичного осадження нерозчинного Ферум (III) гідроксиду, що утворився в результаті контакту суспензії з окисниками повітря в процесі перемішування.

Аналіз коефіцієнтів в рівняннях Фрейндліха та Ленгмюра (таблиця 4) показує, що величини β з рівняння Фрейндліха узгоджуються з величинами коефіцієнта A_{\max} : найвищі значення характерні для найбільш ефективного адсорбенту № 1, а найнижчі – для зразків №№ 4 і 6. Високі значення коефіцієнта адсорбційної рівноваги k з рівняння Ленгмюра доводять значну перевагу швидкості процесу адсорбції над десорбцією та ще раз підтверджують припущення про перевагу хімічної адсорбції іонів Феруму на зразках сорбентів №№ 1, 2, 3, 5 на відміну від зразків 4 і 6.

Таблиця 4 — Коефіцієнти в рівняннях ізотерм для процесів адсорбції іонів Феруму на глинистих сорбентах

Зразок адсорбента	Рівняння Ленгмюра			Рівняння Фрейндліха		
	A_{\max} , ммоль/г	k	R^2	β , ммоль/г	$1/n$	R^2
Адсорбція іонів амонію						
№ 1	0,6574	196,1	0,98	0,8500	0,2559	0,96
№ 2	0,4568	192,3	0,96	0,4776	0,1963	0,97
№ 3	0,5566	243,9	0,97	0,5909	0,2087	0,96
№ 4	0,3054	1,83	0,99	0,1773	0,3734	0,88
№ 5	0,4599	158,7	0,97	0,4347	0,1775	0,95
№ 6	0,3138	2,29	0,99	0,1987	0,3796	0,93

Для дослідження можливості підвищення сорбційної ємності глинистих порід проводилася їх хімічна модифікація розчинами кислот (HCl, H₂SO₄) та лугу (NaOH) з концентраціями 0,1 М, 0,5 М, 1 М, 2 М при

температурі 20 і 40 °С, тривалість активації – 2 години. Встановлено, що хімічна модифікація використуваних глинистих сорбентів хлоридною та сульфатною кислотою знижує їх адсорбційні властивості. Максимальний ефект спостерігався у випадку використання 2 М NaOH з температурою 40 °С, але при цьому сорбційна здатність підвищувалася лише до 4 % . Враховуючи значні витрати на активацію і низьку її ефективність, рекомендувати хімічну активацію до впровадження є недоцільним.

У п'ятому розділі наведено математичну модель масоперенесення в системі «рідина – тверде тіло» в статичних умовах. З метою встановлення раціональних режимних параметрів ведення періодичного процесу адсорбції, застосовували системний аналіз, що включає декілька рівнів ієрархії.

На першому рівні досліджували модель масоперенесення в системі «одиначна частинка – середовище». Приймалось допущення, що частинка адсорбенту має кулясту форму радіусом R (форма і розмір частинки залишаються постійними протягом всього процесу адсорбції). Тоді диференціальне рівняння масопровідності зручніше віднести до сферичних координат:

$$\frac{\partial C(r, \tau)}{\partial \tau} = k \left(\frac{\partial^2 C(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial C(r, \tau)}{\partial r} \right) \quad (1)$$

Приймались початкові умови (рівномірний розподіл концентрації по об'єму твердої частинки в початковий момент часу): $C(r, 0) = f(r)$; $C(r, 0) = C_{II} = const$, $0 < r < R$, де $C(r, 0)$ - концентрація розподіленого компонента вздовж радіуса частинки в початковий момент часу, кг/м³; C_{II} - початкова концентрація розподіленого компонента, кг/м³; r - поточний радіус частинки, м; R - зовнішній радіус частинки, м.

Граничні умови 3-го роду (закон конвективної масовіддачі на межі розділу фаз «тверда частинка - середовище»):

$$k_n \frac{\partial C(r, \tau)}{\partial r} = \beta (C_{сн} - C_c) \quad (2)$$

де k_n - коефіцієнт масопровідності за концентрації близько поверхні частинки, м²/с; β - коефіцієнт масовіддачі, м/с; C_c і $C_{сн}$ - концентрації речовини, кг/м³.

Для визначення градієнта концентрацій всередині частинки адсорбенту отримали рішення рівняння (1) у загальному вигляді:

$$\Theta = \frac{C_p - C(c, \tau)}{C_p - C_{II}} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{6Bi_m^2}{\mu_n^2 (Bi_m^2 + \mu_n^2 - Bi_m)} \exp(-\mu_n^2 Fo_m) \quad (3)$$

Оскільки процес адсорбції тривалий ($\tau = 3 - 10$ хвилин), то приймалось $Fo > 0,3$ і тоді обмежувались лише першим членом рівняння (3) та отримували рішення для визначення середньооб'ємної концентрації компонента в частинці адсорбенту: $\bar{C}(\tau) = C_p - (C_p - C_{II}) B_1 \exp(-\mu_1^2 Fo_m)$, (4)

де B_l - стала рівняння, $B_l = f(Bi_m) = \frac{6Bi_1^2}{\mu_1^2(Bi_1^2 + \mu_1^2 - Bi_1)}$.

На другому рівні розглядали рівняння конвективної дифузії компонента в рухомому середовищі $\frac{\partial C_c}{\partial \tau} = \text{div}(D_L \text{grad} C_c) - W \text{grad} C_c$ (5)

та його рішення $C_c(\tau) = C_{cп} \exp\left(-\frac{W}{h} \tau\right)$. (6)

На третьому рівні для дослідження масоперенесення в цілому у об'ємі апарату використовували рівняння $V_p \frac{dC}{d\tau} = V_c(C_{cп} - C_{cк})$, (7)

де V_p – об'єм робочої зони, заповненої твердим адсорбентом, m^3 ;

та його рішенням : $C_k = (C_{cп} - C_{cк}) e^{\frac{V_c}{V_p} \tau} + C_{cп}$. (8)

Розроблено інженерну методику розрахунку, що дозволяє за заданими фізико-хімічними параметрами рідкого середовища і твердого адсорбенту розрахувати робочий об'єм адсорбційного реактора, його габаритні розміри та насипну масу адсорбенту.

У шостому розділі наведено результати напівпромислової апробації технології адсорбційного очищення від сполук Феруму технічних вод, які використовувались у виробництві діоксиду титану пігментного в Сумському державному науково-дослідному інституті мінеральних добрив і пігментів. Розроблено принципову блок-схему (рис. 7) повторного використання очищених від сполук Феруму вод для промивання пасти гідрату діоксиду титану на етапі «білої» фільтрації.

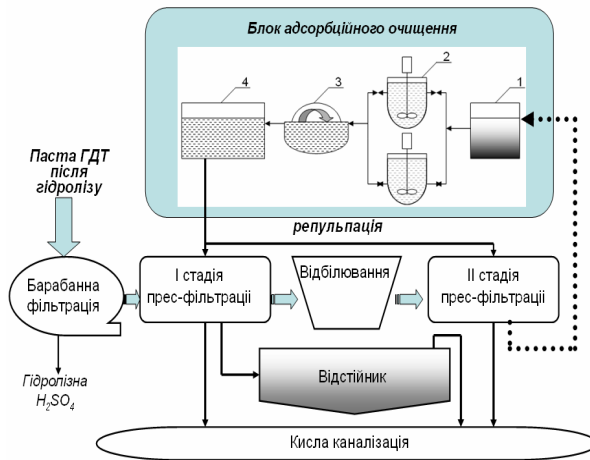


Рисунок 7 — Принципова блок-схема очищення від сполук Феруму води, використовуваної на стадії «білої» фільтрації у виробництві TiO_2 : 1-відстійник адсорбційного блоку; 2- каскад адсорберів; 3- барабанний вакуум-фільтр; 4- колектор очищеної води.

Розроблена технологія адсорбційного водоочищення з використанням глинистих сорбентів дозволяє повторно використовувати 4 273,5 кг води в перерахунку на 1 т виробленого титанового пігменту, що дозволить знизити навантаження на відстійник «білого» відділення титанового виробництва на 20%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Базуючись на одній з основних природоохоронних задач захисту гідросфери шляхом зниження екологічної небезпеки від скидання недостатньо очищених стічних вод, що містять понаднормові кількості сполук амонію та Феруму в дисертаційній роботі виконано наступне:

1. Визначено джерела надходження сполук амонію та Феруму в поверхневі води Сумської області. Проведено аналіз потенційної можливості завдання шкоди вказаними сполуками водним екосистемам та аналіз загроз виникнення аварійних ситуацій у випадку використання поверхневих водозаборів, забруднених сполуками амонію та Феруму для технологічних цілей. В результаті аналізу літературних джерел визначено основні недоліки існуючих технологій очищення стічних вод від сполук амонію та Феруму.

2. Проведено оцінку екологічних загроз від забруднення іонами амонію та Феруму поверхневих вод басейнів рік Сула, Псел, Ворскла та Десна, що протікають територією Сумської області, за період 2002 – 2010 рр. Визначено межі перевищення ГДК за вказаними забрудниками та встановлено, стоки яких підприємств наносять найбільшу екологічну шкоду. Розраховано річний іонний стік в поверхневі води з території Сумської області амонію та Феруму, що який відповідно склав 7,4 тис. т та 885 т понад фоновий вміст. Розраховано розмір збитків від скидання понаднормових кількостей досліджуваних іонів у поверхневі води Сумської області, які сумарно склали 518 284 грн. на рік.

3. Досліджено характеристики гранулометричного складу, мікроструктури, мінерального та хімічного складу глинистих порід родовищ с. Вільшана Недригайлівського району, с. Степанівка, с. Руднівка, с. Стецьківка Сумського району, с. Вошиліха Роменського району, с. Полошки Путівльського району Сумської області, на основі чого спрогнозовано доцільність їх застосування як сорбентів в процесах водоочищення.

4. На основі вивчення ізотерм встановлено механізм адсорбції іонів амонію та Феруму та виявлено вплив якісного та кількісного мінерального складу досліджуваних порід на ефективність процесу адсорбції. Розраховані коефіцієнти в рівняннях Ленгмюра та Фрейндліха. Встановлено, що найкращими адсорбційними властивостями відносно іонів амонію та Феруму володіють суглинки з вмістом монтморилонітового глинистого компонента не менше 10 – 15%, тоді як переважає каолінітової мінеральної складової

негативно позначається на адсорбції іону амонію при достатньо задовільній здатності до адсорбції іонів Феруму, що може бути використано для підбору адсорбенту з метою вирішення конкретних задач промислового чи комунального водоочищення.

5. Розроблено математичну модель масоперенесення в системі «рідина-тверде тіло» в статичних умовах. На її основі запропоновано інженерну методику розрахунку масоперенесення, яка дозволяє встановити конструктивні та режимні параметри адсорбційного реактора. Перевірено модель на адекватність.

6. Розроблено апаратурно-технологічну схему процесу адсорбційного водоочищення з використанням глинистих сорбентів. Проведено дослідно-промислові випробування технології адсорбційного очищення від сполук Феруму промивних вод, які використовуються у виробництві диоксиду титану пігментного. Розроблену технологію передано в Сумський державний науково-дослідний інститут мінеральних добрив і пігментів з метою створення замкненої системи промивних вод на стадії «білої» фільтрації пасти гідрату диоксиду титану.

7. Розрахований економічний ефект впровадження технології адсорбційного очищення у виробництві диоксиду титану пігментного на підприємстві продуктивністю 40 тис. т/рік складе 119 600 грн. Для підготовки 1 м³ очищеної води, економія складає 23 %, в порівнянні з вартістю традиційної водопідготовки.

8. Розроблено та передано Охтирському державному підприємству «Водоочистка» ТОВ «Водоторгприлад» засади технології процесу очищення стічних вод від наднормових кількостей амонію для створення проектів промислових установок доочищення стоків.

9. Рекомендовано екологічно безпечний шлях використання відпрацьованих сорбентів як вторинної сировини у виробництві керамзиту.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Большаніна С. Б. Аналіз екологічного стану поверхневих вод Сумської області / С. Б. Большаніна, В. Д. Дудченко // Вісник Сумського національного аграрного університету, Серія «Механізація та автоматизація вироб. процесів».—2004. — вип. 11.— С. 116—119. (особистий внесок - аналіз негативного впливу забрудників на водні екосистеми)

2. Мальований М. С. Дослідження ізотерми адсорбції іонів Fe²⁺ на природних глинистих мінералах Сумської області / М. С. Мальований, С. Б. Большаніна, В. Д. Дудченко // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. — 2006. — № 6.— С. 17—21. (особистий внесок – побудова ізотерм, встановлення коефіцієнтів в рівняннях адсорбції Ленгмюра та Фрейндліха графічним методом)

3. Дудченко В.Д. Прогнозування адсорбційної здатності глинистих порід Сумщини за їх мінеральним складом та мікроструктурою / В. Д. Дудченко // Вісник Сумського національного аграрного університету, Серія “Механізація та автоматизація вироб. процесів”. — 2008. — вип. 3 (19).— С. 144—150.

4. Захарко Я. М. Аналіз мікроструктури глинистих мінералів Сумської області / Я. М. Захарко, В. Д. Дудченко, С. Б. Большаніна // Вісник національного університету Львівська політехніка. — 2008. — № 609. — С.239—242. (особистий внесок – підготовка зразків та виконання дослідження на растровому електронному мікроскопі)

5. Большаніна С. Б. Деякі аспекти використання природних мінералів України та Сумської області / С. Б. Большаніна, В. Д. Дудченко // Вісник Сумського національного аграрного університету, Серія «Ветеринарна медицина». — 2004. — вип. 7 (12).— С. 20—22. (особистий внесок – огляд галузей застосування природних дисперсних сорбентів)

6. Большаніна С. Б. Дослідження адсорбційних здатностей глинистих мінералів Сумської області в процесах очищення води від сполук заліза / С. Б. Большаніна, В. Д. Дудченко // XIII междунар. научно-технич. конф. [“Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов, утилизация отходов”], (Алушта, 13 - 17 июня 2005 г.) : сб. научн. трудов / под ред. С. В. Разметаева: в 2—х т., Т. 2 — Х. : УкрВОДГЕО, 2005.— С. 513 — 514. (особистий внесок – проведення експериментальних досліджень сорбції іонів Феруму різними видами глин)

7. Дудченко В. Д. Моніторинг вмісту Феруму загального в поверхневих водах Сумської області за 2002—2004 роки / В. Д. Дудченко // XIII междунар. научно-технич. конф. [“Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов, утилизация отходов”], (Алушта, 13 - 17 июня 2005 г.) : сб. научн. трудов / под ред. С. В. Разметаева : в 2-х т., Т. 2. — Х. : УкрВОДГЕО, 2005.— С. 528 — 531.

8. Дудченко В. Д. Вплив біогенних елементів на процеси евтрифікації водойм басейну р. Ворскла у 2002—2006 роках / В. Д. Дудченко // Екологічна безпека: моніторинг, оцінка ризику, перспективні природоохоронні технології : наук.-практ. конф., 21-23 травня 2007 р. : тези доп. — Львів, 2007. — С.45.

9. Большаніна С. Б. Вплив структурних особливостей глин та суглинків Сумщини на їх адсорбційні властивості стосовно іонів Феруму / С. Б. Большаніна, В. Д. Дудченко // XV междунар. научно-техн. конф. [“ Экологическая и техногенная безопасность. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов ”], (Бердянск, 11 – 15 июня 2007 г.) : сб. науч. трудов : в 2-х т., Т. 2. — Бердянск, 2007. — С. 141 — 144. (особистий внесок – виконання рентгенофазового аналізу глинистих сорбентів)

10. Дудченко В.Д. Використання растрової електронної мікроскопії в дослідженні структури та властивостей глинистих порід / В. Д. Дудченко // матеріали наук.-практ. конф. викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ, 8-25 квітня 2008 р.: [в 3-х т.], Т.3. — Суми : Довкілля, 2008. — С. 67.

11. Дудченко В.Д. Вплив фазового складу та мікроструктури глинистих мінералів на їх реологічні властивості / В. Д. Дудченко // Вплив руйнівних повеней, паводків, небезпечних геологічних процесів на функціонування інженерних мереж та безпеку життєдіяльності : V наук.-практ. конф., 23-27 лютого 2009 р. м. Яремча : тези доп. — К. : НПП «Екологія наука техніка», 2009. — С. 145.

12. Дудченко В. Д. Растровая электронная микроскопия в исследовании параметра «структура—химический состав—адсорбционные свойства» глинистых минералов / В. Д. Дудченко, В. Д. Чиванов, А. Ф. Дербенев // XVI Российский симпозиум по растровой электронной микроскопии и аналитическим методам исследования твердых тел (РЭМ—2009), 31 мая - 3 июня 2009 г. : тезисы докл. — Черноголовка, 2009. — С.192. (особистий внесок – виконання дослідження глинистих мінералів на растровому електронному мікроскопі та аналіз результатів)

13. Большанина С. Б. Особливості фільтраційних процесів в технології адсорбційного доочищення модельних розчинів від заліза загального / С. Б. Большанина, В. Д. Дудченко // XVIII междунар. научно-технич. конф. [“ Экологическая и техногенная безопасность. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов ”], (Бердянск, 7 - 11 июня 2010 г.) : сб. науч. трудов / под ред. В. Ф. Костенко, А. И. Абрамовича : в 2-х т., Т. 2. — Х. : УкрВОДГЕО, 2010. — С. 286. (особистий внесок - проведення експериментальних досліджень умов фільтрації глинистої суспензії)

14. Дудченко В. Д. Встановлення технологічних параметрів знезалізування промивних вод при виробництві двоокису титану / В. Д. Дудченко // матеріали наук.–практ. конф. викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ, 20 - 29 квітня 2011 р. — 2011.— С. 62.

АНОТАЦІЯ

Івченко В. Д. Очищення стічних і поверхневих вод від іонів амонію та Феруму глинистими мінералами Сумської області. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Сумський державний університет Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, Суми, 2012.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню рівня екологічної безпеки шляхом розроблення технології адсорбційного очищення стоків і вод систем

зворотного водопостачання від сполук амонію та Феруму із застосуванням місцевих глинистих сорбентів. Вивчено структуру, хімічний та мінеральний склад глинистих порід з шести родовищ Сумської області. Вивчено оптимальні параметри процесу адсорбції на місцевих глинистих сорбентах. Вивчено ізотерми та встановлено коефіцієнти в рівняннях адсорбції Ленгмюра та Фрейндліха. Експериментально підтверджена залежність адсорбційних властивостей від мінерального складу глин. Доведено, що для ефективної адсорбції іонів Феруму та амонію сприятливою є присутність в структурі глин не менш, ніж 10-15 % монтморилоніту. При переважанні каолінітової складової використання сорбентів при очищенні водних середовищ від амонію є недоцільним, через низьку активність адсорбенту.

Розроблено і перевірено на адекватність математичну модель масоперенесення в системі «рідина – тверде тіло» в статичних умовах та інженерну методику розрахунку, що дозволяє встановити конструктивні і режимні параметри адсорбційного реактора. Розроблено апаратурно-технологічну схему очищення води від сполук Феруму та амонію з використанням глинистих сорбентів.

Дослідно-промислові випробування технології очищення від Феруму проведено в Сумському державному науково-дослідному інституті мінеральних добрив і пігментів. Експериментальні дослідження промислової установки показали високу якість очищення води, що використовується в технології виробництва диоксиду титану пігментного на етапі «білої» фільтрації, та дозволили знизити навантаження на поверхневі водні об'єкти за рахунок створення замкненої системи промивних вод.

Ключові слова: екологічна безпека, поверхневі води, адсорбція, природні дисперсні сорбенти, амоній, Ферум.

АННОТАЦІЯ

Ивченко В. Д. Очистка сточных и поверхностных вод от ионов аммония и железа глинистыми минералами Сумской области. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.01 - экологическая безопасность. - Сумской государственной университет Министерства образования и науки, молодежи и спорта Украины, Сумы, 2012.

Диссертация посвящена повышению уровня экологической безопасности путем разработки технологии адсорбционной очистки сточных вод и систем оборотного водоснабжения от соединений аммония и железа с применением местных глинистых сорбентов. Проведена оценка качественных и количественных показателей степени загрязненности поверхностных вод Сумской области соединениями аммония и железа.

Определены источники поступления наиболее загрязненных стоков. Установлены превышения ГДК указанных загрязнителей, определены предприятия, сточные воды которых наносят наибольший ущерб экологической безопасности поверхностных водоемов. Рассчитано, что годовой ионный сток аммония в поверхностные воды с территории Сумской области составил 7,4 тыс. т, железа – 885 т сверх фонового содержания. Вычислен размер убытков от сбросов сверхнормативных количеств исследуемых ионов, который составил суммарно 518 284 грн в год.

На основании ресурсно-сырьевой базы глинистых минералов Сумщины определены перспективные сорбенты для водоочистных технологий из шести месторождений области. Изучены их структура, химический и минеральный состав. Результаты изучения микроструктуры поверхности и рентгенофазового анализа позволило разделить исследуемые глинистые сорбенты на две группы. Наличие в составе образцов минерала монтмориллонита обеспечивает адсорбционную активность за счет наличия подвижной кристаллической структуры, способствующей проникновению молекул воды и обменных катионов в межслоевое пространство. Присутствие каолинита в составе глинистых пород понижает их адсорбционные способности, что обусловлено их жесткой кристаллической структурой и отсутствием внутрикристаллического набухания.

Экспериментально исследован процесс адсорбции ионов аммония и железа из модельных растворов глинистыми адсорбентами, проанализированы кинетические кривые, изотермы адсорбции, определены константы в уравнениях Ленгмюра и Фрейндлиха. Установлено, что лучшими сорбционными свойствами обладают глинистые породы с содержанием монтмориллонита не меньше 10-15 %, тогда как преобладание каолинитовой минеральной составляющей негативно сказывается на адсорбции ионов аммония при достаточно удовлетворительной способности к адсорбции ионов железа.

Построена математическая модель массопереноса в системе «раствор – твердое тело» в статических условиях, на основании которой создана инженерная методика расчета оптимальных рабочих параметров адсорбционного реактора.

Разработана и проверена на адекватность математическая модель массопереноса в системе «жидкость - твердое тело» в статических условиях и инженерная методика расчета, которая позволяет установить конструктивные и режимные параметры адсорбционного реактора. Разработана аппаратно-технологическая схема очистки воды от соединений железа и аммония с использованием глинистых сорбентов.

Опытно-промышленные испытания технологии очистки от железа проведены в Сумском государственном научно-исследовательском институте

минеральных удобрений и пигментов. Экспериментальные исследования промышленной установки показали высокое качество очистки воды, используемой в технологии производства двуокиси титана пигментной на этапе «белой» фильтрации, что позволило снизить нагрузку на поверхностные водные объекты за счет создания замкнутой системы промывных вод. Экономический эффект от внедрения технологии адсорбционной очистки при производстве двуокиси титана пигментной при условии среднегодового производства готового продукта в объеме 40 тыс. т, составит 119 600 грн.

Ключевые слова: экологическая безопасность, поверхностные воды, адсорбция, природные сорбенты, аммоний, железо.

SUMMARY

Ivchenko V. D. Surface water and Wastewater treatment from ammonium and iron ions by the clay minerals of Sumy region. - On the manuscript

Dissertation for the degree of candidate of technical science specialty 21.06.01 - ecological safety. - Sumy State University, the Ministry of Education, Youth and Sports of Ukraine, Sumy, 2012.

The thesis deals with the raising environmental security by developing adsorption technologies at sewage and water systems back from ammonium compounds and Iron by using local clay sorbents. The structure, chemical and mineral composition of clay rocks of the six fields of Sumy region were studied. The optimal parameters of adsorption on the local clay sorbents were studied. Isotherm and the coefficient set in the adsorption equations of Langmuir and Freundlich were created. The dependence of adsorption properties of the mineral composition of clays was experimentally confirmed. It was shown that efficient adsorption of iron and ammonium ions reached supportive presence in the structure of clays was no less than 10-15% montmorillonite. The purification of water from ammonium by sorbents with the predominance of kaolinite component is impractical because of low adsorbent activity.

Developed and tested for adequacy of mathematical model mass transfer in the system "liquid - solid" in static conditions and engineering design procedure allows to set design and regime parameters of adsorption reactor. A hardware-technological scheme of water purification from iron and ammonium compounds using clay sorbents was created. Experimental-industrial testing technology treatment of iron was conducted in Sumy State Scientific Research Institute of fertilizers and pigments. Experimental studies of industrial installations have shown high quality of water used in the production technology of titanium dioxide pigment at the stage of "white" filter, and allowed to reduce the load on surface water bodies through a closed system of rinse waters.

Keywords: ecological safety, surface water, adsorption, natural dispersed sorbents, ammonium, iron.