

Досліджено процеси іонообмінного вилучення з води амонію та нітратів. Визначено вплив умов сорбції нітратів та амонію на ефективність очищення води, досліджено процеси регенерації катіонітів та аніонітів з подальшою утилізацією відпрацьованих регенераційних розчинів. Запропоновано принципову технологічну схему, що забезпечує очищення води від сполук азоту з переробкою відпрацьованих регенераційних розчинів

Ключові слова: переробка відходів, регенерація, амоній, нітрати, іонний обмін

Исследованы процессы ионообменной очистки воды от аммиака и нитратов. Определено влияние условий сорбции нитратов и аммония на эффективность очистки воды, исследованы процессы регенерации катионитов и анионитов с дальнейшей утилизацией отработанных регенерационных растворов. Предложена принципиальная технологическая схема, которая обеспечивает очистку воды от соединений азота с переработкой отработанных регенерационных растворов

Ключевые слова: переработка отходов, регенерація, аммоний, нитраты, ионный обмен

УДК 628.162:628.3:621.359.7

DOI: 10.15587/1729-4061.2016.72328

МАЛОВІДХОДНА ІОНООБМІННА ТЕХНОЛОГІЯ ВИЛУЧЕННЯ СПОЛУК АЗОТУ ІЗ ВОДИ

М. Д. Гомеля

Доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри*

E-mail: m.gomelya@kpi.ua

Г. Г. Трохименко

Кандидат біологічних наук, доцент,
заступник завідувачого кафедри

Кафедра екологічної безпеки та охорони праці

Завідувач екологічною лабораторією

Національний університет

кораблебудування ім. адмірала Макарова

пр. Героїв Сталінграда, 9, м. Миколаїв, Україна, 54025

E-mail: antr@ukr.net

Т. О. Шаблій

Доктор технічних наук, доцент*

E-mail: tania1@voliacable.com

*Кафедра екології та технології рослинних полімерів

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

1. Вступ

Сьогодні екологічний стан природних водойм на Україні багато в чому залежить від ефективності очищення комунально-побутових стоків та ефективності використання вод в промисловості, включаючи енергетику, в тому числі забезпечення населення теплом та електроенергією.

Україна має обмежені запаси прісної води і вже майже втратила чисті поверхневі води, що відповідали б вимогам до якості води господарсько-побутового постачання. Поверхневі води річок, озер, підземні води, напірні артезіанські води використовуються для питного водопостачання, але багато з них втратили свою якість через надмірне забруднення стічними водами. Часто техногенне навантаження на водні басейни перевищує їх здатність до самоочищення.

Частіше за все забруднення водойм призводить до суттєвого підвищення рівня мінералізації водойм, значного підвищення твердості води. Досить складною і гострою проблемою є забруднення води нітратами та амонієм. У водні об'єкти сполуки азоту поступають з атмосферними опадами, при розкладанні твердих відходів, з побутовими стічними водами, стічними водами харчової промисловості та інших галузей вироб-

ництв, з відходів військових об'єктів, а також в результаті використання мінеральних добрив у сільському господарстві. Підвищення вмісту нітратів в поверхневих водоймах відбувається не лише за рахунок скиду стічних вод [1] та інших антропогенних факторів, але й за рахунок їх накопичення в ґрунтових та підземних водах в результаті природних процесів. Про це свідчать дані по визначенню нітратів в підземних водах [2].

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

На сьогодні для вилучення сполук азоту із води застосовують адсорбційні [3, 4], біологічні [5, 6], баромембранні [7–9], електрохімічні [10–13], іонообмінні [14, 15] методи очищення води та методи каталітичного хімічного відновлення [13].

Проте, розглянуті методи мають ряд суттєвих недоліків. Сорбційне вилучення амонію на мінеральних сорбентах малоефективне через низьку ємність сорбентів [3]. Недостатньо ефективно на сорбентах вилучаються і нітрати [4]. Біологічні процеси очищення води від нітратів проходять досить повільно [5]. При вилученні амонійних сполук даним методом необхідна достатня аерація води, що призводить до підвищення

концентрацій нітритів та нітратів [6]. При застосуванні нанофільтрування ступінь вилучення нітратів із води не перевищує 50 % [7]. Невисокою ефективністю при очищенні води від нітратів характеризується і метод зворотнього осмосу [8]. Крім того, авторами [9] показано, що наявність у воді хлоридів і сульфатів знижує ефективність зворотньоосмотичного очищення води від нітратів. Навіть комбінування процесів зворотнього осмосу з електродіалізом не завжди дає можливість знизити вміст нітратів до допустимих рівнів та не вирішує проблему утилізації концентратів [10]. Не вирішується проблема утилізації концентратів і при вдосконаленні процесів електродіалізу [11]. Вилучення нітратів з води електродіалізом є енерговитратним [12]. Застосування фотокаталітичного відновлення нітратів із застосуванням відновників є досить дорогим та супроводжується вторинним забрудненням води [13].

Значно простішим та надійнішим при вилученні нітратів з води є застосування іонного обміну [14]. Проте, вилучення амонію з води в присутності іонів жорсткості на катіонах практично неможливе, а при вилученні нітратів на аніонах ефективність процесу очищення в значній мірі залежить від вмісту хлоридів та сульфатів. Крім того, регенераційні розчини часто забруднені хлоридами, що суттєво погіршує можливість отримання із них рідких добрив [15].

3. Ціль та задачі дослідження

Метою даної роботи було створення маловідходної іонообмінної технології очищення води від сполук азоту, оснований на використанні методів регенерації іонітів, що забезпечують переробку відпрацьованих регенераційних розчинів у рідкі мінеральні добрива.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

- дослідження процесів сорбції нітратів на низькоосновному аніоніті в сольовій та основній формі, визначення умов ефективної регенерації з урахуванням переробки регенераційних розчинів;
- дослідження процесів катіонного пом'якшення води для забезпечення ефективного вилучення з води амонійного азоту, створення маловідходних процесів регенерації катіонітів;
- розробка принципової технологічної схеми очищення води від сполук азоту, що передбачає переробку відпрацьованих регенераційних розчинів.

4. Матеріали та методи дослідження

4.1. Матеріали та обладнання, що використовувались в експерименті

Як іонообмінні матеріали в даній роботі використовували слабкокислотний катіоніт Dowex Mac-3, сильнокислотний катіоніт КУ-2-8, низькоосновний аніоніт Dowex Marathon.

Як середовища використовували дистильовану, водопровідну та артезіанську воду, а також модельні розчини на їх основі (табл. 1).

Експериментальні дослідження по вилученню сполук азоту проводили методом іонного обміну. Концентрацію амонію та нітрат-іонів у воді визначали

фотометрично та спектрофотометрично. Концентрацію хлорид-іонів аналізували титруванням розчином азотнокислого срібла в присутності хроматів, концентрацію сульфатів визначали методом титрування розчином хлористого барію.

Таблиця 1

Характеристика вод

Параметр	Водопровідна вода	Артезіанська вода
Жорсткість, мг-екв/дм ³	4,2	4,8
Лужність, мг-екв/дм ³	4,2	–
Концентрація іонів кальцію, мг-екв/дм ³	3,4	3,7
Концентрація іонів магнію, мг-екв/дм ³	0,8	1,1
Концентрація хлорид-іонів, мг/дм ³	23	19
Концентрація сульфат-іонів, мг/дм ³	39	27
pH	7,82	7,72

4.2. Методика експерименту

Процеси сорбції сполук на іонообмінних матеріалах проводили в динамічних умовах. Іоніт знаходився в колонці, діаметром 19 мм в об'ємі 10–20 см³. Розчин фільтрували через іоніт з витратою 10–15 см³/хв., відбираючи проби об'ємом 0,1–1,0 дм³. Після пропускання води через катіоніти проби аналізували на вміст іонів амонію, визначали в них кислотність та pH середовища. Після аніонообмінного фільтру визначали кислотність води, вміст хлоридів, сульфатів, нітратів та pH середовища.

Регенерацію катіоніту проводили 5 та 10 %-ми розчинами азотної кислоти. Об'єм проб дорівнював 20 см³. В пробах визначали вміст амонію та залишкову кислотність.

Аніоніт регенерували 10 %-ними розчинами хлориду натрію, хлориду амонію та 4 %-ним розчином аміаку. Об'єм проб дорівнював об'єму аніоніту – 10 см³. Проби аналізували на концентрацію нітратів.

Ступінь регенерації розраховували як відношення сумарної маси десорбованого амонію або нітратів до маси сорбованих речовин.

5. Результати досліджень по видаленню іонів амонію та нітратів іонообмінним методом

Із літературних даних по іонообмінному очищенню води від нітратів [14, 15] відомо, що високо- та низькоосновні іоніти в Cl⁻ формі добре сорбують нітрати з води.

При цьому обмінна ємність аніонітів по нітратах сягала 870–1180 мг-екв/дм³. Непогані результати були отримані при регенерації аніонітів розчинами хлористого натрію та хлористого амонію. Ступінь регенерації сягав 60–70 %. Проте, навіть у випадку застосування хлористого амонію можливості по переробці відпрацьованих регенераційних розчинів у рідкі мінеральні добрива обмежені через високий вміст в них хлоридів. Тому, використовуючи перспективу ефективної регенерації низькоосновного аніоніту розчинами аміаку, було вивчено процеси сорбції нітратів на низькоосновному аніоніті в основній формі з кислих розчинів (рис. 1, 2).

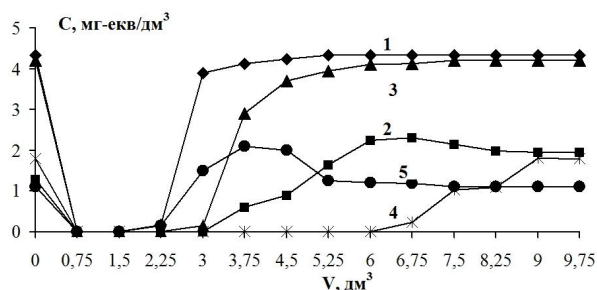


Рис. 1. Вихідні концентрації нітратів (1, 2, 3), сульфатів (4) та хлоридів (5) при сорбції на низькоосновному аніоніті Dowex Marathon ($V_i=10$ см³) із розчини азотної кислоти ($[HNO_3]=4,33$ мг-екв/дм³) (1), суміші азотної та сірчаної кислот ($[HNO_3]=1,98$ мг-екв/дм³, $[H_2SO_4]=1,79$ мг-екв/дм³) (2, 4), суміші азотної та соляної кислот ($[HNO_3]=4,20$ мг-екв/дм³, $[HCl]=1,1$ мг-екв/дм³) (3, 5) (ПОДЄ₁=1697 мг-екв/дм³, ПОДЄ₂=827 мг-екв/дм³, ПОДЄ₃=1416 мг-екв/дм³, ПОДЄ₄=969 мг-екв/дм³, ПОДЄ₅=340 мг-екв/дм³)

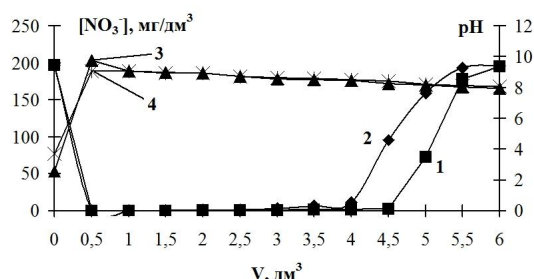


Рис. 2. Залежність концентрації нітратів (1, 2) та pH (3, 4) розчинів, отриманих після H^+ -катіонування артезіанської води на катіоніті КУ-2-8 (1, 3) ($Ж=0,28$ мг-екв/дм³, $К=2,93$ мг-екв/дм³, $[HNO_3]=197$ мг/дм³, $[HCl]=19$ мг/дм³, $[H_2SO_4]=27$ мг/дм³, $pH=2,54$), та Dowex Mac-3 (2, 4) ($Ж=1,21$ мг-екв/дм³, $К=1,26$ мг-екв/дм³, $[HNO_3]=197$ мг/дм³, $pH=3,68$) і після фільтрування через низькоосновний аніоніт Dowex Marathon в основній формі ($V_i=10$ см³) (ПОДЄ₁=1544 мг-екв/дм³, ПОДЄ₂=1377 мг-екв/дм³)

Кислі розчини були вибрані тому, що після H^+ -катіонування та виділення з води вуглекислоти в дегазаторі на іонообмінні фільтри поступають слабкі розчини кислот – соляної, сірчаної та азотної. Співвідношення вмісту кислот залежить від співвідношення хлоридів, сульфатів та нітратів у вихідній воді.

Як видно з рис. 1, нітрати добре сорбуються з кислих розчинів на низькоосновному аніоніті в основній формі. Найвищу ємність іоніт має при використанні розчину азотної кислоти або її суміші з соляною кислотою. ПОДЄ по нітратах сягає 1446–1697 мг-екв/дм³. Це обумовлено тим, що в першому випадку для нітрат-аніонів немає конкуруючих іонів, а в разі хлоридів – селективність по нітратах вища, що також сприяє сорбції нітратів. У випадку суміші азотної та сірчаної кислот сорбуються як нітрати, так і сульфати. При цьому присутність в регенераційних розчинах сульфатів не впливає на якість рідких добрив при їх переробці. Хлориди ж з аніоніту витісняються нітратами [15].

Хороші результати отримано і при вилученні нітратів з води після обробки на сильноокислотному катіоніті КУ-2-8 в кислій формі (рис. 2). ПОДЄ по нітратах сягає 1544 мг-екв/дм³. Непогані результати отримано

після обробки води на слабокислотному катіоніті та низькоосновному аніоніті (ПОДЄ=1377 мг-екв/дм³).

Висока ємність аніоніту по нітратах в даному випадку обумовлена тим, що при проходженні води через катіоніт в кислій формі з води вилучається основна кількість іонів жорсткості (рис. 3) та відбувається підкислення води.

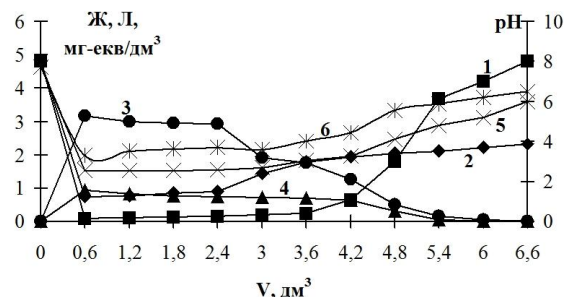


Рис. 3. Залежність жорсткості (1, 2) лужності (3, 4) та pH (5, 6) артезіанської води ($Ж=4,8$ мг-екв/дм³, $Л=4,6$ мг-екв/дм³, $[Ca^{2+}]=3,7$ мг-екв/дм³, $[Mg^{2+}]=1,1$ мг-екв/дм³, $[NO_3]=197$ мг/дм³, $[Cl^-]=19$ мг/дм³, $[SO_4^{2-}]=27$ мг/дм³, $pH=7,72$) від пропущеного об'єму через катіоніт КУ-2-8 ($V_i=10$ см³) (1, 3, 5) та Dowex Mac-3 ($V_i=10$ см³) (2, 4, 6) в кислій формі (ПОДЄ₁=2207 мг-екв/дм³, ПОДЄ₂=2145 мг-екв/дм³)

В разі катіоніту КУ-2-8 на початковому етапі сорбуються основна маса катіонів та в розчині залишаються азотна, соляна та сірчана кислоти. Вугільна кислота розпадається на воду та вуглекислий газ, який витісняється з води. На слабокислотному катіоніті в кислій формі в основному витісняється з води вугільна кислота, а хлориди, сульфати та нітрати залишаються у вигляді солей. Проте кислотність розчину досягає 1,2–1,56 мг-екв/дм³, що сприяє підвищенню ефективності сорбції нітратів на низькоосновному аніоніті в основній формі.

Застосування низькоосновного аніоніту Dowex Marathon в основній формі дозволяє не лише підвищити ємність аніоніту по нітратах, в порівнянні з аніонітом в хлор-формі (рис. 4), але й дає можливість вирішити проблему регенерації аніоніту та утилізації регенераційних розчинів.

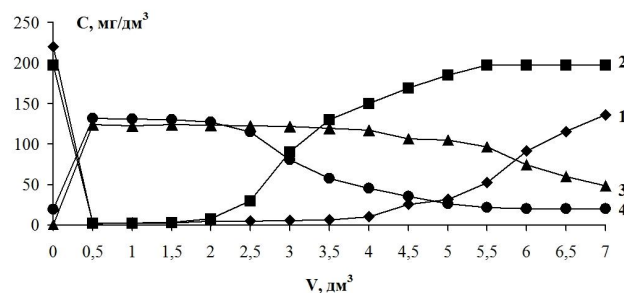


Рис. 4. Залежність концентрації нітратів (1, 2), та хлоридів (3, 4) від пропущеного об'єму розчину нітрату натрію у дистильованій воді ($[HNO_3]=220$ мг/дм³) (1, 3) та артезіанської води ($[HNO_3]=197$ мг/дм³) через аніоніт Dowex Marathon ($V_i=10$ см³) в Cl^- -формі (ПОДЄ₁=1184 мг-екв/дм³, ПОДЄ₂=968 мг-екв/дм³)

Як видно з рис. 5, регенерація аніоніту в NO_3^- -формі хлористим натрієм проходить достатньо ефективно. При використанні хлористого амонію ступінь реге-

нерації досягає 93 %, проте регенераційний розчин містить хлориди і непридатний для виробництва мінеральних добрив. При використанні 4 %-го розчину аміаку досягнуто повної регенерації аніоніту. При питомій витраті регенераційного розчину 5 см^3 на 1 см^3 іоніту досягнуто ступеню регенерації на рівні 93 %. При нейтралізації надлишку аміаку азотною кислотою відпрацьований регенераційний розчин буде містити лише нітрат амонію і буде придатним для виробництва мінеральних добрив.

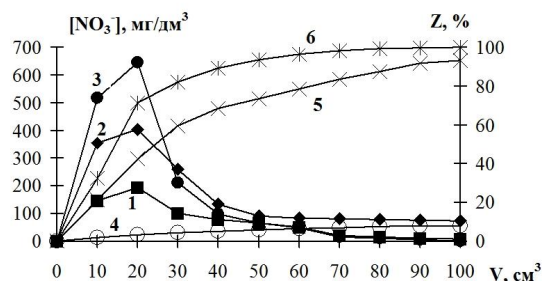


Рис. 5. Вплив витрати 10 %-них розчинів NaCl (1, 4), NH_4Cl (2, 5) та 4 %-го розчину NH_4OH (3, 6) (аніоніт Dowex Marathon в NO_3^- формі ($V_1=10 \text{ см}^3$)) на вихідну концентрацію нітратів (1, 2, 3) та ступінь регенерації іоніту (4, 5, 6)

Слід відмітити, що попередня обробка води на кислих катіонітах дозволяє не лише підвищити ефективність вилучення з неї нітратів на аніонітах, але й забезпечує ефективне вилучення з води амонію.

Відомо, що катіоніти мають значно вищу селективність по іонах жорсткості в порівнянні з однозарядними катіонами, включаючи і амоній. Проте, при пропусканні води через катіоніти в кислій формі на першій стадії катіонування з неї вилучається основна маса іонів кальцію і магнію, а на другій стадії катіонування добре сорбуються іони амонію. Це підтверджують результати, приведені на рис. 6.

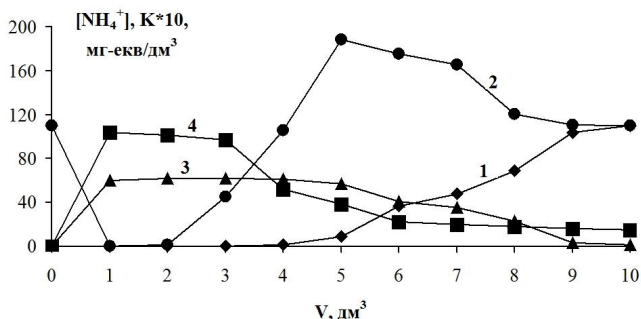


Рис. 6. Залежність концентрації іонів амонію (1, 2) та кислотності (3, 4) від пропущеного об'єму розчину хлориду амонію в дистильованій ($[\text{NH}_4\text{Cl}]=6,2 \text{ мг-екв/дм}^3$) (1, 3) та водопровідній воді ($[\text{NH}_4\text{Cl}]=6,2 \text{ мг-екв/дм}^3$, $\text{Ж}=4,2 \text{ мг-екв/дм}^3$, $\text{Л}=4,2 \text{ мг-екв/дм}^3$, $\text{pH}=7,82$) (2, 4) через катіоніт КУ-2-8 в кислій формі ($V_1=20 \text{ см}^3$) ($\text{ПОДЕ}_1=2009 \text{ мг-екв/дм}^3$, $\text{ПОДЕ}_2=175 \text{ мг-екв/дм}^3$)

Так, при відсутності іонів жорсткості ємність катіоніту КУ-2-8 по амонію сягає 200 мг-екв/дм^3 . При сорбції амонію з водопровідної води з жорсткістю $4,2 \text{ мг-екв/дм}^3$ ємність іоніту по амонію сягає лише 175 мг-екв/дм^3 . За даних умов іони амонію після сорбції на початковій стадії поступово витісняються з

катіоніту іонами жорсткості при подальшому фільтруванні води.

Для десорбції іонів амонію з катіоніту доцільно використовувати розчини азотної кислоти. Це дає змогу відпрацьовані регенераційні розчини використовувати для виробництва мінеральних добрив.

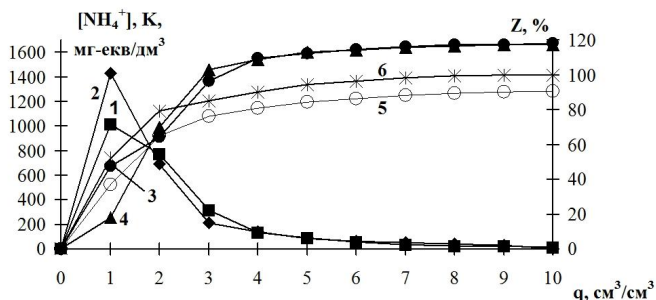


Рис. 7. Залежність концентрації іонів амонію (1, 2), кислотності розчину (3, 4) та ступеню десорбції амонію з катіоніту КУ-2-8 ($V_1=20 \text{ см}^3$) (5, 6) від питомої витрати розчину азотної кислоти (q , $\text{см}^3/\text{см}^3$) концентрацією 5 % (1, 3, 5) та 10 % (2, 4, 6)

Як видно з рис. 7, регенерація катіоніту в амонійній формі розчинами азотної кислоти проходить досить ефективно. Ефективність процесу зростає із підвищенням концентрації кислоти.

6. Обговорення результатів по іонообмінному очищенню води від сполук азоту

З приведених результатів видно, що ефективність вилучення нітратів з води зростає при попередньому її очищенні від іонів жорсткості на катіонітах в кислій формі. При цьому відбувається підкислення розчинів і на аніоніті відбувається сорбція азотної, сірчаної або соляної кислот, яка проходить досить ефективно при використанні аніоніту в основній формі. Головною реакцією процесу є реакція нейтралізації, яка характеризується високою швидкістю та незворотністю.

Іншою особливістю процесу є висока ефективність регенерації низькоосновного аніоніту основними реагентами. За високих значень pH низькоосновний аніоніт переходить із амонійної форми в амінну, при якій функціональні групи втрачають позитивний заряд, що сприяє ефективній десорбції сорбованих аніонів. Тому при використанні розчинів аміаку можна досягти повної регенерації аніоніту.

Відпрацьовані регенераційні розчини містять лише нітрати та надлишок аміаку, що спрощує їх переробку в рідкі мінеральні добрива на основі нітрату амонію.

Вилучення іонів жорсткості при фільтруванні води через катіоніти в кислій формі дозволяє ефективно вилучати з води як іони амонію, так і нітрати. Катіоніт другої стадії катіонування, на якому сорбовані іони амонію, доцільно регенерувати розчинами азотної кислоти і переробляти відпрацьовані регенераційні розчини в рідкі добрива також на основі нітрату амонію.

Виходячи з отриманих результатів, розроблено принципову технологічну схему очищення води від сполук азоту з одночасним її пом'якшенням (рис. 8).

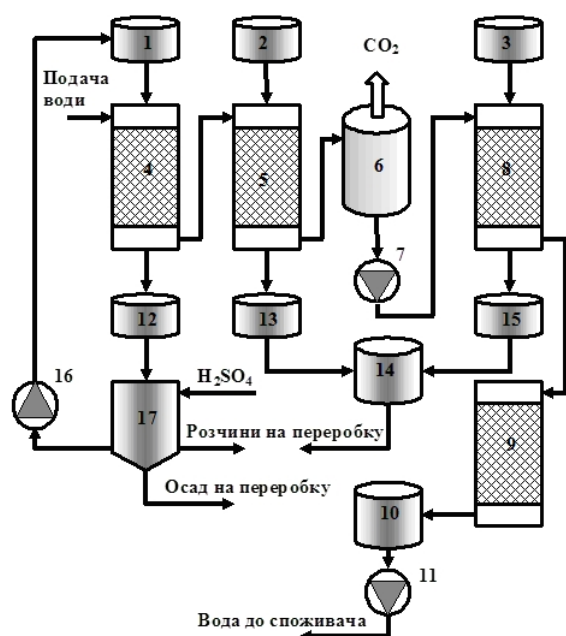


Рис. 8. Принципова технологічна схема демінералізації води, що містить сполуки азоту: 1, 2, 3 – резервуари з регенераційними розчинами відповідно соляної, азотної кислот та аміаку; 4, 5, 9 – катіонообмінні фільтри, 6 – дегазатор; 7, 11, 16 – насоси; 8 – аніонообмінний фільтр; 10 – резервуар очищеної води; 12, 13, 15 – резервуари відпрацьованих регенераційних розчинів; 14 – нейтралізатор; 17 – реактор

Згідно із запропонованою схемою, вода проходить послідовно через слабокислотний катіонообмінний фільтр, заповнений смолою Dowex Мас-3 в кислій формі (4), та сильнокислотний катіоніт КУ-2-8 в кислій формі (5). На першій стадії в основному вилучаються іони жорсткості, на другій стадії вилучаються залишки іонів жорсткості та іони амонію. З підкисленої води в дегазаторі (6) виділяється вуглекислота. В подальшому вода від азотної кислоти (можливо домішок сірчаної та соляної кислот) виділяється на фільтрі (8), заповненому низькоосновним аніонітом Dowex Marathon в основній формі. При цьому відбувається нейтралізація води та очищення її від нітратів. При наявності сульфатів, вони також сорбуються на аніоніті. Хлориди, якщо вони є у воді, з аніоніту витісняються нітратами або сульфатами, селективність по яких у аніоніту вища, як у нітратів.

Слід відмітити, що дана технологія ефективна для очищення води із низьким вмістом хлоридів і сульфатів. Як правило, прісні поверхневі або підземні води містять хлориди або сульфати в низьких концентраціях. Тобто часто зустрічаються води, вміст хлоридів та сульфатів не перевищує 50 мг/дм³ при концентраціях нітратів більше 100 мг/дм³.

В разі необхідності отримання питної води для коригування вмісту іонів жорсткості в ній її доцільно пропускати на останній стадії через слабокислотний катіоніт Dowex Мас-3 в кальцій-магнієвій формі (9). Тоді хлористий водень, що вимивається з аніоніту, буде вимивати з катіоніту іони жорсткості при коригуванні рН на рівні 7. При вмісті хлоридів у воді на рівні 1,0–1,5 мг-екв/дм³ жорсткість очищеної буде ся-

гати 1,5 мг-екв/дм³, що відповідає вимогам до питної води. Катіоніт спеціально переводити в кальцій-магнієву форму не потрібно, так як в дану форму іоніт переходить на першій стадії катіонування. Застосування його на останній стадії сприятиме його регенерації та забезпечить зниження витрати реагенту на регенерацію.

Регенерацію катіоніту доцільно проводити соляною кислотою за технологією, описаною в роботі [16]. За даною технологією відпрацьований розчин соляної кислоти обробляють сірчаною кислотою і виділяють в реакторі (17) нерозчинний сульфат кальцію, а освітлений розчин використовують для регенерації катіоніту. Розчин можна використовувати до насичення його солями магнію до концентрації приблизно 2000 мг-екв/дм³.

Після цього він направляється на переробку, що включає випаровування з отриманням технічного хлориду магнію, придатного для використання. Катіоніт в амонійній формі (5) регенерується азотною кислотою. Відпрацьований кислий розчин направляється в нейтралізатор (14), до якого також потрапляє основний регенераційний розчин, що утворюється після регенерації аніоніту в нітратній формі розчином аміаку (8). Після нейтралізації даної суміші отримують водний розчин нітрату амонію, який застосовується для виготовлення рідких добрив. Промивні води після промивки катіоніту у фільтрі (5) використовуються для приготування розчину азотної кислоти у резервуарі (2). Промивні води після промивки аніоніту у фільтрі (9) використовуються для приготування розчину аміаку в резервуарі (3). Фільтр (9) після вимивання іонів жорсткості включають на стадію сорбції замість одного з фільтрів (5), а на його місце включають один із фільтрів (5) в кальцій-магнієвій формі.

7. Висновки

1. Досліджено процеси сорбції нітратів із кислих та нейтральних розчинів на низькоосновному аніоніті Dowex Marathon. Показано, що застосування аніоніту в основній формі забезпечує ефективне вилучення нітратів із слабокислих розчинів при високій ефективності регенерації аніоніту розчинами аміаку, що значно спрощує їх подальшу переробку.

2. Встановлено, що вилучення з води катіонів жорсткості на катіонітах в кислій формі забезпечує ефективне вилучення з води іонів амонію. Застосування для регенерації катіоніту азотної кислоти дозволяє відпрацьовані регенераційні розчини використовувати для виробництва рідких добрив.

3. Розроблено принципову технологічну схему маловідходної технології очищення води від сполук азоту, основу на використанні двохстадійного катіонування на слабо- та сильнокислотному катіонітах в кислій формі та вилученні аніонів на низькоосновному аніоніті в основній формі, особливістю якої є те, що вона забезпечує вилучення амонію з води в присутності іонів жорсткості та нітратів в присутності хлоридів та сульфатів. Технологія передбачає переробку відпрацьованих регенераційних розчинів в рідкі добрива на основі нітрату амонію.

Література

1. Piatek, K. B. Sources of nitrate in snowmelt discharge: evidence from water chemistry and stable isotopes of nitrate [Text] / K. B. Piatek, M. J. Mitchell, S/ R. Silva, C. Kendal // Water, Air, and Soil Pollut. – 2005. – Vol. 165, Issue 1-4. – P. 13–35. doi: 10.1007/s11270-005-4641-8
2. Singleton, M. J. Tracking sources of unsaturated zone and groundwater nitrate contamination using nitrogen and oxygen stable isotopes at the Hanford Site, Washington [Text] / M. J. Singleton, K. N. Woods, M. E. Conrad, D. J. Depaolo, P. E. Dresel // Environmental Science & Technology. – 2005. – Vol. 39, Issue 10. – P. 3563–3570. doi: 10.1021/es0481070
3. Malovanyy, A. Concentration of ammonium from municipal wastewater using ion exchange process [Text] / A. Malovanyy, H. Sakalova, Y. Yatchyshyn, E. Plaza, M. Malovanyy // Desalination. – 2013. – Vol. 329. – P. 93–102. doi: 10.1016/j.desal.2013.09.009
4. Öztürk, N. Nitrate removal from aqueous solution by adsorption onto various materials [Text] / N. Öztürk, E. T. Bektaş // Journal of Hazardous Materials. – 2004. – Vol. 112, Issue 1-2. – P. 155–162. doi: 10.1016/j.jhazmat.2004.05.001
5. Шандрович, В. Т. Застосування ANAMMOX-процесу для очищення стічних вод від сполук азоту [Текст] / В. Т. Шандрович, М. С. Мальований, А. М. Мальований // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Хімія, технологія речовин та їх застосування, Львів. – 2014. – № 787. – С. 352–357.
6. Malovanyy, A. Evaluation of factors influencing specific Anammox activity using surface modeling [Text] / A. Malovanyy, E. Plaza, J. Trela // Proceedings of Polish-Ukrainian-Swedish seminar “Research and application of new technologies in wastewater treatment and municipal solid waste disposal in Ukraine, Sweden and Poland”, 2009. – P. 35–45.
7. Иевлева, О. С. Методы удаления нитратов из природных и питьевых вод [Текст] / О. С. Иевлева, В. В. Гончарук // Химия и технология воды. – 2006. – Т. 28, № 3. – С. 256–273.
8. Гончарук, В. В. Можливості зворотного осмосу низького тиску в очищенні природних вод від мінерального азоту [Текст] / В. В. Гончарук, М. М. Балакіна, В. О. Осипенко, Д. Д. Кучерук, В. З. Швиденко // Доповіді Національної академії наук України. – 2010. – № 3. – С. 194–199.
9. Гончарук, В. В. Очистка воды от нитратов методом обратного осмоса низкого давления [Текст] / В. В. Гончарук, В. О. Осипенко, М. Н. Балакіна, Д. Д. Кучерук // Химия и технология воды. – 2013. – Т. 35, № 3. – С. 125–131.
10. Осипенко, В. О. Электродиализная очистка солоноватых вод от нитратов с получением аммонийных удобрений [Текст] / В. О. Осипенко, М. Н. Балакіна, Д. Д. Кучерук // Химия и технология воды. – 2015. – Т. 37, № 1. – С. 75–84.
11. Menkouchi Sahli, M. A. Technical optimisation of nitrate removal from ground water by electrodialysis using a pilot plant [Text] / M. A. Menkouchi Sahli, M. Tahaikt, I. Achary, M. Taky, F. Elhanouni, M. Hafsi et. al. // Desalination. – 2004. – Vol. 167. – P. 359. doi: 10.1016/j.desal.2004.06.146
12. Polatides, C. Electrochemical removal of nitrate ion from aqueous solution by pulsing potential electrolysis [Text] / C. Polatides, M. Dortsiou, G. Kyriacou // Electrochimica Acta. – 2005. – Vol. 50, Issue 25-26. – P. 5237–5241. doi: 10.1016/j.electacta.2005.01.057
13. Лозовский, А. В. Исследование фотокаталитической активности Ag/TiO₂ катализаторов реакции восстановления нитрат-ионов в водных средах [Текст] / А. В. Лозовский, И. В. Столярова, Р. В. Приходько, В. В. Гончарук // Химия и технология воды. – 2009. – Т. 31, № 6. – С. 631–642.
14. Гомеля, М. Д. Оцінка ефективності аніонітів в маловідходних процесах очищення води від нітратів [Текст] / М. Д. Гомеля, О. В. Голтвяницька, Т. О. Шаблій // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2012. – № 1. – С. 84–90.
15. Гомеля, М. Д. Оцінка впливу хлоридів на іонообмінне очищення води від нітратів [Текст] / М. Д. Гомеля, В. М. Грабітченко, І. М. Трус // Экология и промышленность. – 2015. – № 1 (45). – С. 61–65.
16. Андрияш, С. В. Регенерация катионита КУ–2–8 при создании малоотходных технологий умягчения и обессоливания воды [Текст] / С. В. Андрияш, И. Н. Гомеля, Т. А. Шаблій // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2007. – № 2. – С. 34–39.