

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ СТУПЕНЯ АДСОРБЦІЇ ІОНІВ ХРОМУ(III) ЗАЛЕЖНО ВІД КІЛЬКОСТІ БЕНТОНІТУ

¹Вінницький національний технічний університет

Здійснено аналіз ступеня адсорбції іонів хрому(III) залежно від кількості бентоніту. Забруднення водойм (озер, річок, океанів, підземних вод) продуктами діяльності людини впливає на організми та рослини, що живуть у цих водоймах. Якщо забруднювачі скидаються прямо чи опосередковано у водойми без належного очищення та видалення шкідливих компонентів, то це завдає шкоди не лише окремим видам і популяціям, а й природним біологічним спільнотам. Найактуальнішими методами очищення є адсорбційні, які широко застосовують для глибокого очищення стічних вод, і навіть від органічних речовин, таких як феноли, гербіциди, пестициди, ароматичні нітросполуки, ароматичні речовини, барвники, тощо. Доведено, що застосування бентоніту, як сорбенту дозволяє замінити стадію механічного відділення, що є однією з трудомістких стадій цього процесу. На основі бентоніту отримано низку композиційних сорбентів, зокрема тих, що мають магнітні властивості, у яких на поверхні мінералу осаждено шар Fe_3O_4 . Проблема видалення важких металів зі стічних вод зараз особливо актуальна. Погано очищені стічні води надходять у природні водойми, де важкі метали накопичуються у воді і донних відкладеннях, стаючи таким чином джерелом вторинного забруднення. Сполуки важких металів порівняно швидко поширюються по всьому водному об'єкту.

В процесі дослідження виявлено, що зі збільшенням маси бентоніту в колоні, ефективність адсорбції збільшується для всіх варіантів концентрації, також спостерігається збільшення показника ефективного об'єму. Такі результати досліджень вказують на вибір шару сорбенту 20 г як найвдалішого варіанта. За таких витрат сорбенту ступінь очищення модельного розчину становить 83,2 % ($C_0(Cr^{3+}) = 0,5 \text{ г/дм}^3$) за найменшої концентрації поліюантанта і 70,2 % за найбільшої початкової концентрації іонів хрому в розчині ($C_0(Cr^{3+}) = 2,0 \text{ г/дм}^3$).

Отже, поставлене завдання виконується використанням для очищення стічних вод адсорбційного методу, який полягає у видаленні іонів важких металів шляхом їх поглинання шаром сорбенту, що знаходиться в іонно-обмінному фільтрі, причому це очищення проводять у шарі природного мінералу — бентоніту.

Ключові слова: екологічна безпека, важкі метали, сорбційні технології, хром, бентоніт, сорбент, адсорбційна установка, очищення стічних вод, поліюантант, адсорбційна колона.

Вступ

Антропогенне забруднення гідросфери має глобальний характер і суттєво зменшує доступні експлуатаційні ресурси прісної води на планеті. Загальний об'єм промислових, сільськогосподарських і комунально-побутових стоків сягає 1300 км^3 , для розбавлення яких необхідно приблизно $8,5 \text{ тис. км}^3$ води, тобто 20 % повного і 60 % стійкого стоку річок світу [1].

Загальна маса забруднювальних гідросферу речовин складає близько 15 млрд т на рік [2]. До найнебезпечніших забруднювачів належать солі важких металів, феноли, пестициди, нафтопродукти, органічні отрути, насичена бактеріями біогенна органіка, синтетичні поверхнево активні речовини, мінеральні добрива, фармацевтичні відходи та ін. [3].

Поліюантант — це будь-який природний або антропогенний агент, який потрапляє у довкілля в кількостях, які перевищують фонові значення та викликає тим самим його забруднення (також поліюантантом іменують і джерело забруднення, наприклад, завод або полігон ТПВ). При цьому «мірою» забруднення цим агентом середовища є ступінь відхилення його від фонових значень. У вузькому сенсі «поліюантант» — це фізичний, хімічний або біологічний компонент, який потрапив у

середовище техногенним шляхом і шкідливо (токсично) діє на біоту (живі організми) [4].

Таким чином, актуальною проблемою є аналіз ступеня адсорбції іонів хрому(III) залежно від кількості бентоніту у забруднених стічних водах.

Метою роботи є дослідження ступеня адсорбції модельних розчинів іонів хрому(III) в залежності від кількості бентоніту.

Результати дослідження

Об'єктом дослідження вибрано стічні води [5]—[8]. Безпосередньо для дослідження використовували модельні водні розчини, що містять наднормові кількості іонів хрому(III), у концентраціях, що відповідають реальному вмісту іонів хрому у стічних водах.

Для проведення дослідження методу визначення іонів хрому в об'єктах дослідження приготувано модельні розчини. Для початку відібрано наважку хрому нітрату $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ — 4,58 г, що вносились у колбу об'ємом 1 л. До приготованого розчину додано дистильовану воду і розчин ретельно перемішувався до повного розчинення. Приготований розчин доводили дистильованою водою до об'єму 1 л. З отриманого розчину відбирали 8 проб об'ємом: 2 мл, 10 мл, 20 мл, 40 мл, 80 мл і 120 мл, 160 мл, 200 мл і вносили у мірні колби об'ємом 200 мл. Вміст кожної з проб доводили дистильованою водою до риски. Даний процес проводили за сталих умов, тобто за температури 20 ± 1 °С. Проводилось три паралельні досліди. Для дослідження сорбційної здатності бентоніту щодо іонів хрому у заданих умовах готували розчин $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$, що містив 0,5, 1, 1,5, 2 г/дм³ іонів Cr^{3+} .

За використання високоактивних сорбентів воду потрібно очищувати від забруднювальних речовин до нульового значення залишкової концентрації. Важливими перевагами цього методу є те, що сорбенти можуть поглинати речовини з води за будь-яких концентрацій, і навіть досить малих, тоді як інші методи очищення є неефективними та недієвими.

Бентоніти — це продукти корисних копалин, які є тонкодисперсними високопластичними гірськими породами смектинового складу (в основному монтморилоніт та байделіт). Це густі, в'язкі, масні на дотик породи різних кольорів — від білого до чорного, які з додаванням води утворюють гель.

Бентоніти — порода, що складається в основному зі смектитових мінералів. У групу смектитів входить кілька мінералів: монтморилоніт, бейделіт, нонтроніт і ін. менш розповсюджені [9], [10]. Кристалічна решітка всіх смектитів складається з шарів. В елементарну комірку входять 3 шари, які утворюють пакети: крайні верхні і нижній шари пакета складаються з тетраедрів Al, SiO_4 і називаються тетраедричними. Між тетраедричними шарами розташований шар, що складається з октаедрів Al і Fe, і називається октаедричним [8]—[10]. Для бентоніту характерна структура типу 2:1, в якій кристали монтморилоніту складаються з шарів, що, у свою чергу, складені з двох шарів кремнійкисневих тетраедрів, з'єднаних шаром алюмогідроксилкисневих тетраедрів. Тетраедричні положення заповнені катіонами кремнію. У разі заміщення частини його катіонами алюмінію дефіцит у позитивних зарядах, який виникає, компенсується обмінними катіонами (Ca^{2+} , K^+ , Na^+), розміщеними між шарами (табл. 1).

Таблиця 1

Фізико-хімічні характеристики монтморилонітового бентоніту Дашуківського родовища

Межа міцності у вологому стані	1,05 МПа
Межа міцності у сухому стані	4,7 МПа
Колоїдальність	37 %
Числопластичності	39,7
Природна вогкість	35%
Об'ємна маса	1840 кг/м ³

Зазвичай, найбільше монтморилоніту міститься у другому горизонті продуктивної товщі глин [11]—[16]. В табл. 2 подано склад глин Дашуківського родовища (Черкаська область).

Бентонітові глини в природному чи активному вигляді, тобто після хімічної обробки кислотами, мають високі адсорбційні властивості і широко використовуються, як природний адсорбент для очищення продуктів нафтопереробної, коксохімічної, та харчової промисловості тощо. Так, за крупності фракції 0,5...1 мм, ємність поглинання катіонів важких металів

природного монтморилонітового бентоніту становить 1821 мг екв/100 г. Застосовують бентоніт в гірничодобувній промисловості для приготування бурових розчинів, а також як природний адсорбент, наповнювач.

Від якості підготовки адсорбенту залежить достовірність подальших результатів. Процес підготовки бентоніту складався з кількох послідовних етапів.

Усереднений хімічний склад глин Дашуківського кар'єру, (мас.%)

Компоненти	1 горизонт	2 горизонт	3 горизонт	4 горизонт
SiO ₂	48,6	59,92	55,2	58,89
Al ₂ O ₃	13,73	14,78	11,74	11,05
TiO ₂	0,72	0,75	0,34	0,55
Fe ₂ O ₃	5,98	6,95	6,95	6,24
FeO	0,49	0,07	0,2	0,2
MnO	0,05	0,08	0,34	0,18
MgO	2,71	2,26	5,08	1,31
CaO	8,84	1,73	1,25	4,47
Na ₂ O	1,53	0,35	0,26	0,44
K ₂ O	1,16	0,23	1,12	1,14
SO ₃	0,23	0,15	0,1	0,15
P ₂ O ₅	0,07	0,05	0,055	0,06
В.п.п.	12,89	8,42	11,76	11,35
Сума	97	100	98,85	98,7
H ₂ O ⁺ Ад(б)сорбція	8,3	10,67	9,97	10,17
C _{орг.}	0,55	0,08	0,08	0,1

Примітки: В.п.п. — втрати в процесі прожарювання. C_{орг.} — вміст органічних речовин.

На початковому етапі матеріал подрібнюється на невеликі шматочки, а потім — в крихту. Отриману суміш поміщають в сушильну шафу на 45 хвилин. Важливою умовою є дотримання температурного режиму. Для сушіння бентоніту встановлено температуру до 120 градусів за Цельсієм.

На наступному етапі шматки глини знову подрібнено до порошкоподібного стану. Для цього застосовано ступку з товчачиком, а потім просіяно через сито. Отриманий сорбент завантажено в колону. Підготовлену поверхню бентоніту до завантаження в колону та після повного насичення іонами хрому(III) у 50-кратному збільшенні показано на рис. 1.

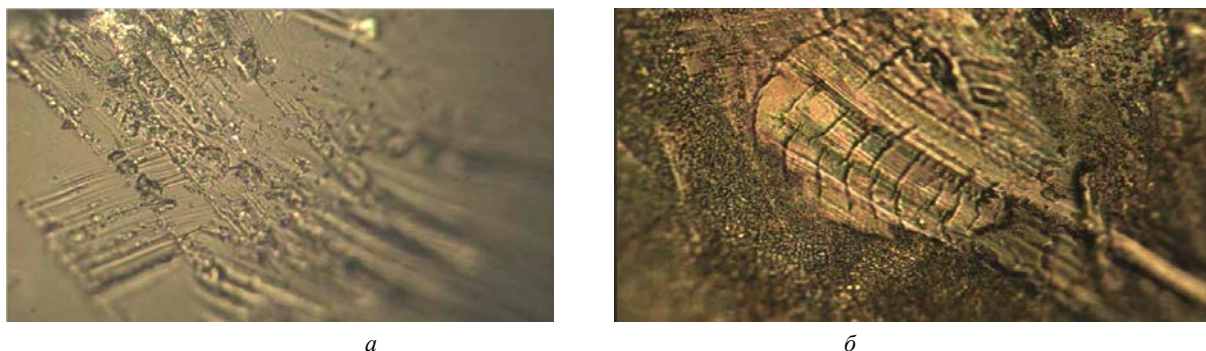


Рис. 1. Знімки поверхні бентоніту у 50-кратному збільшенні: а — поверхня бентоніту перед завантаженням в колону; б — поверхня відпрацьованого і висушеного бентоніту

Отже, як видно на фото, на відпрацьованому бентоніті наявні кристали оксидів хрому після процесу висушування.

Таким чином, обґрунтовано застосування природних сорбентів у технології очищення стічних вод, а саме бентонітів — тонкодисперсних високопластичних гірських порід смектинового складу (в основному монтморилоніт та байделіт), які мають різного ступеня в'язучі та сорбційні властивості. При цьому, поставлене завдання вирішується адсорбційним методом очищення стічних вод, який полягає в очищенні стічних вод від іонів важких металів шляхом їх поглинання шаром сорбенту, що знаходиться в іонно-обмінному фільтрі, а очищення стічних вод проводять в шарі природного мінералу бентоніту.

Проведення дослідження

Очищення води проводилося в лабораторній адсорбційній колоні, яка має діаметр 35 мм та висоту 600 мм, за використання бентонітової глини.

Після процесу підготовки глини, її засипали в колону. Загальна маса сорбенту в адсорбційній колоні становила 15 і 20 г. Висота шару сорбенту в колонці становила 2,25 і 2,4 см відповідно. Далі колону зафіксовано у штативі. Над колоною встановлено посудину (об'єм = 100 см³), з якої через кран розчин з концентрацією іонів Cr³⁺ 0,5 г/л стікав у колону зі швидкістю збігання 1 крапля за 20 секунд.

Адсорбційна установка з визначення сорбційної здатності глини зображена схематично на рис. 2.

Перевірку ефективності очищення стічної води від іонів хрому(III) на зразках бентонітової глини виконували і на лабораторній установці, показаній на рис. 3.

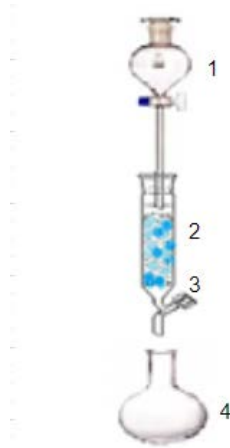


Рис. 2. Адсорбційна колона: 1 — ділильна воронка з модельним розчином; 2 — сорбент; 3 — скловата; 4 — очищений розчин



Рис. 3. Фото лабораторної установки

Дослідження процесу сорбції іонів хрому проводився методом окремих наважок. Попередньо готували модельний розчин нітрату хрому концентрацією 0,5...2 г/л. У ході експериментів змінювали такий параметр, як шар адсорбенту — 15 г, 20 г.

Вилучення іонів Cr³⁺ з модельного розчину проводили в колоні, заповненої 15 г та 20 г сорбенту. Під час сорбції відбиралися проби, через кожних 10 мл, концентрацію іонів Cr³⁺ в розчині визначали титриметрично.

Визначення динамічної обмінної ємності

Динамічна обмінна ємність до проскоку — це ємність з адсорбентом, що визначається за появою певного іона в розчині, що витікає з колоні. Динамічна об'ємна ємність визначається за припиненням вилучення цього іону з розчину.

Динамічна обмінна ємність матеріалів визначалась як кількість поглинутих іонів хрому до моменту детектування перших слідів іонів Cr³⁺ на виході з колоні, віднесена до маси іонообмінного матеріалу.

Для обчислення використовували формулу

$$T = q/m, \quad (1)$$

де q — кількість поглинутого забруднення, мг; m — маса глини, г.

Визначення ефективного об'єму

Ефективний об'єм (V_{eff}) розраховується за формулою

$$V_{eff} = V_{розчину}/V_{колоні}, \quad (2)$$

Визначали ефективний об'єм до проскоку, а також максимально ефективний об'єм, тобто об'єм розчину, проходження якого через нерухомий шар природного бентоніту забезпечує найефективніше очищення розчину від іонів забруднювача.

Для встановлення діапазону режимних параметрів, за якими потрібно проводити ретельне дослідження процесів адсорбції, виконано серію попередніх експериментів (рис. 4), що дало можливість зробити такі висновки:

хром, 20 г	ср=0,5
vef	c
0	0
1	0
1,034	0,0219
1,37	0,0519
2,76	0,06055
4,14	0,1199
5,52	0,2305
6,90	0,2305
8,28	0,4905
9,65	0,4905
10,00	0,4905
10,04	0,4905
ср=1,05	0
0,68	0,01245
1,37	0,0228
2,76	0,0648
4,14	0,0713
5,52	0,0865
6,90	0,2069
8,28	0,4632
9,65	0,7366
10,00	1
10,04	1,0005

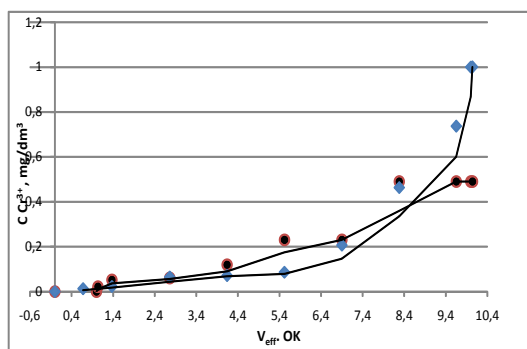


Рис. 4. Встановлення діапазону режимних параметрів

1) коливання температурного режиму від +10 до +30 °С не впливає на ступінь адсорбції іонів Cr^{3+} бентонітом;

2) оптимальна середня швидкість проходження модельного розчину через адсорбційну колону зазначеної висоти є 0,3...0,5 мл/хв, при цьому: за більшої швидкості зменшується кількість адсорбованого Cr^{3+} , а менша швидкість збільшує імовірність сильного загущення пульпи, що призводить до ускладнення процесу подальшої фільтрації;

3) інтервал досліджених концентрацій (0,5...2,0 г/дм³) іонів хрому(III) вибрано, за умов, наближених до природних, відпові-

дно до можливого вмісту катіону Cr^{3+} в реальних стоках;

4) попередньо встановлено, що повне насичення бентонітової глини іонами Cr^{3+} досягається з шаром адсорбенту 15...20 г, за 1—3 доби, залежно від значення концентрацій модельних розчинів.

Для визначення залежності ефективності сорбції від концентрації іонів хрому(III), модельні розчини з початковою концентрацією поллютанту від 0,5 до 2 г/дм³ пропускали через адсорбційну колону з шарами адсорбенту 15 г та 20 г відповідно; температура модельного розчину складала 200 °С.

Розчини аналізували через кожний об'єм колони, середній час проходження становив 3...4 хв/мл, контрольні точки визначали за кожні 40 мл розчину. Визначено числові значення концентрацій. Результати розрахунків подано у таблицях 3 і 4.

Таблиця 3

Концентрація іонів хрому в розчині на виході колони. Маса бентоніту 15 г

τ , хв	V_{eff}	Початкова концентрація іонів хрому, мг/дм ³			
		0,5	1	1,5	2,0
60	0	0	0	0	0
120	1	0	0,01245	0,0212	0,0413
222	1,85	0,0219	0,0228	0,0915	0,0935
444	3,70	0,0519	0,0648	0,1402	0,123
496	4,14	0,06055	0,0713	0,1523	0,1678
662	5,52	0,1199	0,0865	0,1722	0,2231
827	6,90	0,2001	0,2069	0,1898	0,3091
993	8,28	0,2305	0,4632	0,2077	0,3897
1158	9,66	0,3405	0,7366	0,2097	0,4035
1324	11,03	0,4109	0,8322	0,3168	0,4796
1489	12,41	0,4905	1	0,4109	0,5112
1655	13,79	—	1,0005	0,5078	0,6989
1820	15,17	—	—	0,6109	0,7377
1986	16,55	—	—	0,7355	0,8422
2151	17,93	—	—	0,803	0,9012
2371	19,31	—	—	0,9345	1,0234
2482	20,69	—	—	1,287	1,1987
2648	22,07	—	—	1,406	1,2076

Продовження табл. 3

τ , хв	V_{eff}	Початкова концентрація іонів хрому, мг/дм ³			
		0,5	1	1,5	2,0
2813	23,45	—	—	1,5009	1,3435
2979	24,83	—	—	—	1,4698
3144	26,21	—	—	—	1,7055
3310	27,59	—	—	—	1,907
3475	28,97	—	—	—	1,9701
3641	30,34	—	—	—	1,9822
3806	31,72	—	—	—	2,0031
3972	33,10	—	—	—	2,0011
4137	34,48	—	—	—	2,0031
4303	35,86	—	—	—	2,0081

Таблиця 4

Концентрація іонів хрому в розчині на виході колони. Маса бентоніту 20 г

τ , хв	V_{eff}	Початкова концентрація іонів хрому, мг/дм ³			
		0,5	1	1,5	2,0
60	0	0	0	0	0
120	1	0	0	0,00015	0,0002
165	1,38	0,0605	0,058	0,0555	0,0583
331	2,76	0,0683	0,076	0,0857	0,0735
496	4,13	0,1198	0,081	0,1103	0,0908
662	5,51	0,1209	0,0865	0,1352	0,1146
827	6,89	0,2009	0,1319	0,161	0,1846
993	8,27	0,2819	0,1621	0,2012	0,2014
1158	9,65	0,3314	0,2489	0,299	0,2878
1324	11,03	0,3989	0,3214	0,3145	0,3214
1489	12,41	0,4844	0,3898	0,3789	0,4115
1655	13,79	0,49305	0,4155	0,4565	0,4806
1820	15,17	—	0,5213	0,5267	0,5232
1986	16,55	—	0,6589	0,5989	0,5782
2151	17,93	—	0,7818	0,6213	0,6314
2317	19,31	—	0,9112	0,712	0,7109
2482	20,68	—	0,99475	0,7989	0,8091
2648	22,06	—	1,0034	0,845	0,8992
2813	23,44	—	—	0,9178	0,9378
2979	24,82	—	—	0,9967	1,0545
3144	26,21	—	—	1,024	1,1546
3310	27,58	—	—	1,093	1,2101
3475	28,96	—	—	1,1201	1,31
3641	30,34	—	—	1,1304	1,399
3806	31,72	—	—	1,2387	1,4015
3972	33,10	—	—	1,3078	1,4999
4137	34,48	—	—	1,3989	1,503
4303	35,86	—	—	1,4124	1,5998

Узагальнення результатів досліджень зміни концентрацій іонів хрому у воді на виході з колони проказані на рис. 5 і 6.

Як показали криві насичення бентоніту іонами хрому, подані у формі залежності концентрації іону важкого металу на виході з колони (C_{eff}) від об'єму прокачених модельних розчинів (V_{eff}), витрати адсорбенту має суттєвий вплив на перебіг процесу насичення.

За однакових концентрацій іонів хрому об'єми розчинів, а також час адсорбції до настання повного насичення адсорбенту є значно вищими.

Найбільший ефективний об'єм при прокачуванні модельного розчину через шар сорбенту в 15 г становить 30,34, а у разі пропускання розчину через 20 г сорбенту — 41,4.

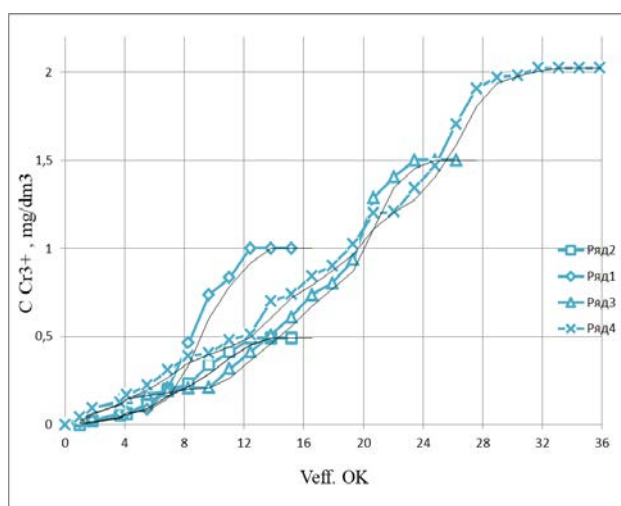


Рис. 5. Криві насичення бентоніту масою 15 г модельним розчином з вихідною концентрацією Cr^{3+} , г/дм³: модельним розчином з вихідною концентрацією Cr^{3+} , г/дм³:
 ■ — 0,5; ◆ — 1; ▲ — 1,5; × — 2,0

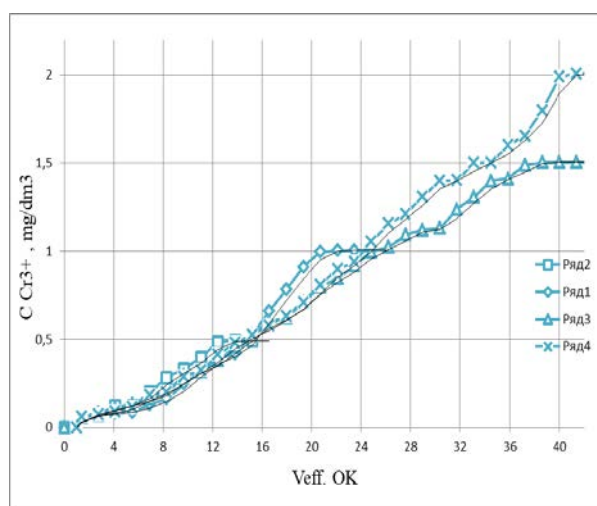


Рис. 6. Криві насичення бентоніту масою 20 г модельним розчином з вихідною концентрацією Cr^{3+} , г/дм³: модельним розчином з вихідною концентрацією Cr^{3+} , г/дм³:
 ■ — 0,5; ◆ — 1; ▲ — 1,5; × — 2,0

Такі значення в обох випадках спостерігаються для модельних розчинів з найвищою концентрацією іону важкого металу, а це дозволяє стверджувати, що застосування ад(б)сорбційного методу з нерухомим шаром сорбенту для видалення політантів низьких концентрацій (менше 0,5 г/дм³) можливо і за менших витрат бентоніту.

Також зі збільшенням початкової концентрації іонів хрому в межах значень експерименту збільшується час появи перших слідів політанту на виході з колони, а час до «проскакування» у всіх випадках швидко настає за концентрації політанту на виході з колони 70 % від початкової.

Виключеннями є залежності, коли концентрація іонів хрому 0,5 г/л — в цьому випадку збільшення концентрації на виході з колони має лінійний характер.

Результати досліджень ефективності сорбції іонів хрому(III) залежно від товщини шару сорбенту подані у таблицях 4 і 5

Згідно з результатом дослідження, максимальне поглинання іонів хрому(III) становить 70,2...83,2 % за витрат сорбенту масою 20 г і 63,5...82,2 % у випадку маси сорбенту 15 г (табл. 5, 6). Ефективність адсорбції зростає зі збільшенням шару адсорбенту, що можна пояснити розвитком активної сорбційної поверхні.

Таблиця 5

Показники ефективності сорбції за різних початкових концентрацій іонів хрому в розчині.
 Маса бентоніту 15 г

Час завантаження (t), хв	$C_0(\text{Cr}^{3+})$ г/дм ³	Перші сліди (Cr^{3+}) в очищеному розчині, ОК	Ефективний об'єм (V_{eff}), ОК	Динамічна обмінна ємність (T)	α , %	
					α_{max}	$\bar{\alpha}$
1080	0,5	1,39	11,03	0,001	95,6	82,2
1230	1,0	1,39	12,41	0,002	97,5	81,0
2480	1,5	0,92	23,45	0,002	98,6	74,0
3205	2,0	0,92	31,72	0,003	98,9	63,5

Низькі показники динамічної обмінної ємності визначені тим, що перші сліди політанту помітні вже за 1—2 ОК, а це значення набагато нижче, ніж у випадку прокачування модельних розчинів з іонами інших політантів [17], [18], хоча при цьому ступінь очищення перших об'ємів високий — 95,6...99 % для розчинів з різними концентраціями Cr^{3+} . Перші сліди іонів хрому з'являються раніше за використання 20 г бентоніту, також значення динамічної обмінної ємності нижчі, коли використовується більша кількість адсорбенту. Але перевага у більшій динамічній обмінній ємності є невелика у порівнянні з різницею між об'ємними швидкостями прокачування. Тож, різниця між об'ємами прокачуваних стоків до «проскакування» значно вища за використання 20 г бентоніту, а у випадку дослідження концентрацій більших за 0,5 г/дм³ ця різниця становить 10 і вище ОК.

**Показники ефективності сорбції за різних початкових концентрацій іонів хрому в розчині.
Маса бентоніту 20 г**

Час завантаження (<i>t</i>), хв	$C_0(\text{Cr}^{3+})$ г/дм ³	Перші сліди (Cr^{3+}) в очищеному розчині, ОК	Ефективний об'єм (V_{eff}), ОК	Динамічна обмінна ємність (<i>T</i>)	α , %	
					α_{max}	$\bar{\alpha}$
1380	0,5	1,03	13,79	0,0008	95,9	83,2
2520	1,0	0,69	22,07	0,0010	97,8	80,2
3720	1,5	0,69	38,06	0,0015	98,7	78,3
4100	2,0	0,69	41,38	0,0020	98,9	70,2

Зі збільшенням маси бентоніту в колоні, ефективність адсорбції збільшується для всіх варіантів концентрації, також спостерігається збільшення показника ефективного об'єму. Такі результати досліджень вказують на вибір шару сорбенту 20 г як кращий варіант. За таких витрат сорбенту ступінь очищення модельного розчину становить 83,2 % ($C_0(\text{Cr}^{3+}) = 0,5 \text{ г/дм}^3$) за найменшої концентрації політанта і 70,2 % за найбільшої початкової концентрації іонів хрому в розчині ($C_0(\text{Cr}^{3+}) = 2,0 \text{ г/дм}^3$).

Для проведення дослідів використано бентоніти Дашуківського кар'єру.

Отже, поставлене завдання виконується використанням для очищення стічних вод адсорбційного методу, який полягає у видаленні іонів важких металів шляхом їх поглинання шаром сорбенту, що знаходиться в іонно-обмінному фільтрі, причому це очищення проводять у шарі природного мінералу — бентоніту [18].

Обговорення дослідження ступеня адсорбції іонів хрому(III) залежно від кількості бентоніту

Поставлене завдання вирішується адсорбційним методом очищення стічних вод, який полягає в очищенні стічних вод від іонів важких металів шляхом їх поглинання шаром сорбенту (природного мінералу бентоніту), що знаходиться в іонно-обмінному фільтрі.

Зі збільшенням шару бентоніту в іонообмінному фільтрі, збільшується ефективність адсорбції внаслідок розвитку активної сорбційної поверхні.

Визначено вміст хрому у досліджуваних зразках води фотометричним методом з дифенілкарбазидом, який застосовують за концентрацій хрому від 0,01 до 1 мг/л. Завдяки використанню цього методу дійшли висновку, що цей зразок води незабруднений за вмістом хрому, оскільки немає перевищень гранично допустимої концентрації, за умови, що ГДК Cr у воді вододом господарсько-питного та культурно-побутового призначення складає 0,1 мг/л. Обґрунтовано застосування природних сорбентів у технології очищення стічних вод, а саме бентоніти, що є тонкодисперсними високопластичними гірськими породами смектинового складу (в основному монтморилоніт та байделіт), яким властиві різного ступеня в'язучі та сорбційні властивості.

Встановлено характеристику бентонітових глин як сорбційних матеріалів. Проведено експериментальні дослідження, опрацьовано їх результати, а саме визначено ефективність адсорбції та динамічної обмінної ємності.

Висновки

Досліджено вилучення іонів хрому(III) з модельних розчинів за використання бентонітів Дашуківського кар'єру та підтверджено можливість його використання для очищення забруднених стічних вод Вінницької області.

Також встановлено ефективність бентонітового сорбенту в залежності від його кількості, що можна пояснити розвитком активної порційної поверхні або збільшенням його сорбційної ємності.

Використано ад(б)сорбційний метод дослідження вилучення іонів важких металів мінеральним сорбентом. Для визначення залишкової концентрації іонів хрому використано метод Мора. Проведено дослідження, опрацьовані результати дослідження, визначено ефективність адсорбції та динамічної обмінної ємності.

Зі збільшенням шару бентоніту в іонообмінному фільтрі, збільшується ефективність адсорбції внаслідок розвитку активної сорбційної поверхні.

Отже, поставлене завдання здійснюється за використання адсорбційного методу для очищення стічних вод від іонів важких металів шляхом їх поглинання шаром сорбенту — природного мінералу бентоніту, який знаходиться в іонно-обмінному фільтрі.

Досліджено ступінь адсорбції іонів хрому(III) в залежності від кількості бентоніту. Встановлено, що ефективність адсорбції зростає зі збільшенням шару адсорбенту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] О. Л. Гелета, «Мінеральні ресурси України: глини. Частина 2: Характеристика глин, огляд їх запасів і галузей використання», *Коштовне та декоративне каміння*, № 4, с. 16-26, 2011.
- [2] М. С. Мальований, і І. М. Петрушка, *Очищення стічних вод природними дисперсними сорбентами*, моногр. Львів, Україна: вид-во Львівської політехніки, 2012, 180 с.
- [3] G Kovo, and Akromie Folasegun Dawodu., “Potential of a low-cost bentonite for heavy metal abstraction from binary component system,” *Beni-Suef University. Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 4, issue 1, pp. 1-13, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2015.02.002> .
- [4] A Gooudie, *The human impact on the natural environment*. Cambridge: MIT PRESS, 2007, 454 p.
- [5] М. С. Мальований, і І. М. Петрушка, *Очищення стічних вод природними дисперсними*: моногр. Львів, Україна: вид-во Львівської політехніки, 2012, 180 с.
- [6] G. Kovo Akromie, and A. Folasegun Dawodu, “Potential of a low-cost bentonite for heavy metal abstraction from binary component system,” *Beni-Suef University, Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 4, issue 1. pp. 1-13, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2015.02.002> .
- [7] M. Labrecque, T. I. Teodorescu, and S. Daigle, “Effect of wastewater sludge on growth and heavy metal bioaccumulation in two Salix species,” *Plant and Soil*, no. 171, pp. 303-306, 2004.
- [8] Н. М. Кравець, «Аналіз проблеми та джерел забруднення природних вод Вінницької області», *Матеріали III Науково-технічної конференції «Актуальні проблеми енергоресурсозбереження та екології»*, 11-12 грудня 2019 р. Одеса, с. 60-63.
- [9] Г. О. Білявський, Р. С. Фурдуй, і І. Ю. Костіков, *Основи екології: підруч. для студ. вищ. навч. закл.* Київ, Україна: Либідь, 2004, 408 с.
- [10] Н. М. Кравець, і І. А. Трач, «Применение природных сорбентов в технологии очистки сточных вод», *I Международная заочная научно-практическая конференция «Инжиниринг: теория и практика»* 26 марта 2021 года, Полесский государственный университет, Пинск, Беларусь, 2021, 135-140 с.
- [11] А. К. Запольский и др., *Физико-химические основы технологии очистки сточных вод*. Киев, Украина: Либра, 2000, 552 с.
- [12] A. Malovanyu, E. Płaza, Y. Yatchyshyn, J. Trela, and M. Malovanyu, “Removal of nitrogen from the mainstream of municipal wastewater treatment plant with combination of ion exchange and canon process (IE-canon) - effect of NaCl concentration. Future urban sanitation to meet new requirements for water quality in the Baltic Sea region,” *Joint Polish-Swedish Reports*, vol. 2, pp. 17-19, 2011.
- [13] Г. В. Сакалова, «Науково-теоретичні основи комбінованих процесів очищення водних середовищ з використанням природних сорбентів.» дис. д-ра. техн. наук: 21.06.01. Львів, 2016, 329 с.
- [14] Г. В. Сакалова, «Очищення стічних від іонів хрому природними дисперсними сорбентами. Технологічні аспекти,» *Вісник ХНУ*, № 6 (267), ч. 2, С.109-115, 2018.
- [15] В. Л. Филипчук, «Очистка сучасних металомістких стічних вод від іонів важких металів, *Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. Технічні науки*, вип. 1 (20), С. 37-44, 2002.
- [16] Ю. Ю. Лурье, *Аналитическая химия промышленных сточных вод*. М.: Химия, 1984. 447 с.
- [17] K. Mygalenko, V. Nuyanzin, A. Zemlianskyi, A. Dominik, and S. Pozdieiev, “Development of the technique for restricting the propagation of fire in natural peat ecosystems,” *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 1(10). pp. 31-37, 2018. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121727> .
- [18] Г. А. Сакалова, І. А, Трач, Н. М. Кравець, Г. Д. Петрук, О. О. Ткачук, Т. Г. Василінич, «Спосіб очищення стічних вод адсорбційним методом», *Патент України МПК C02F 1/42 (2006. 25.08.2021)*.

Рекомендована кафедрою екології, хімії та технологій захисту довкілля ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 7.10.2022

Кравець Наталія Михайлівна — аспірантка кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, e-mail: kravets19950401@gmail.com

Analysis of the Results of Researching the Degree of Adsorption of Chromium(III) Ions Depending on the Amount of Bentonite in Contaminated Wastewater

¹Vinnitsia National Technical University

The degree of adsorption of chromium(III) ions was analyzed depending on the amount of bentonite. Water pollution is the contamination of bodies of water such as lakes, rivers, oceans and groundwater by human activities. All water pollution affects the organisms and plants that live in them. Therefore, in almost all cases, the effect is such that it harms not only individual species and populations, but also natural biological communities. It occurs when pollutants are discharged directly or indirectly into water bodies without proper treatment and removal of harmful components. At the same time, the most relevant are adsorption cleaning methods, which are widely used for deep purification of wastewater, including from organic substances, such as phenols, herbicides, pesticides, aromatic nitro compounds, aromatic substances, dyes, etc. It has been proven that the use of bentonite as a sorbent allows replacing the stage of mechanical separation, which is one of the time-consuming stages of this process. A number of composite sorbents were obtained on the basis of bentonite, in particular, those with magnetic properties, in which a layer of Fe_3O_4 is deposited on the surface of the mineral. The problem of removing heavy metals from wastewater is particularly relevant now. Poorly treated wastewater flows into natural reservoirs, where heavy metals accumulate in water and bottom sediments, thus becoming a source of secondary pollution. Compounds of heavy metals spread relatively quickly throughout the water body.

In the course of the study, it was found that with an increase in the mass of bentonite in the column, the adsorption efficiency increases for all concentration variants, and an increase in the effective volume indicator is also observed. Such research results indicate the choice of a sorbent layer of 20 g as a more successful option. With such sorbent consumption, the degree of purification of the model solution is 83.2 % ($C_0(Cr^{3+}) = 0.5 \text{ g/dm}^3$) at the lowest concentration of the pollutant and 70.2 % at the highest initial concentration of chromium ions in the solution ($C_0(Cr^{3+}) = 2.0 \text{ g/dm}^3$).

So, the task is solved by the fact that in the method of wastewater treatment by the adsorption method, which consists in the purification of wastewater from heavy metal ions by absorbing them with a layer of sorbent, which is located in an ion-exchange filter, and the purification of wastewater is carried out in a layer of the natural mineral bentonite.

Keywords: environmental safety, heavy metals, sorption technologies, chromium, bentonite, sorbent, adsorption plant, wastewater treatment.

Kravets Natalia M. — Post-Graduate Student of the Chair of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, e-mail: kravets19950401@gmail.com