

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА
ФАКУЛЬТЕТ ХІМІЇ ТА ФАРМАЦІЇ

О. В. ПЕРЛОВА, Л. М. СОЛДАТКІНА

ХІМІЯ ПРИРОДНИХ ТА СТІЧНИХ ВОД

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

для студентів факультету хімії та фармації
спеціальності 102 «Хімія», 014 «Середня освіта (Хімія)»

ОДЕСА
ОНУ
2022

УДК 54-3:628.1.03(075.8)

П26

Рекомендовано вченою радою
факультету хімії та фармації ОНУ імені І. І. Мечникова.
Протокол № 3 від 09.11.2021 р.

Рецензенти:

О. О. Стрельцова – доктор хімічних наук, професор, зав. кафедри фізичної та колоїдної хімії Одеського національного університету імені І. І. Мечникова;

Т. О. Кіосе – кандидат хімічних наук, доцент кафедри неорганічної хімії та хімічної освіти Одеського національного університету імені І. І. Мечникова.

Перлова О. В.

П26 Хімія природних та стічних вод : метод. вказівки до лабораторних занять для студентів ф-ту хімії та фармації / О. В. Перлова, Л. М. Солдаткіна. – Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2022. – 62 с.

Методичні вказівки містять плани 6 лабораторних робіт з вибіркової дисципліни «Хімія природних та стічних вод» згідно з робочою програмою навчальної дисципліни. Наведено правила техніки безпеки, основні теоретичні відомості для підготовки до занять, питання та тестові завдання для контролю рівня опорних знань студентів, порядок виконання роботи, порядок обробки результатів дослідів та здійснення розрахунків, контрольні питання та тести, вимоги щодо порядку оформлення та захисту лабораторних робіт.

Рекомендується для аудиторної, самостійної та індивідуальної роботи студентів факультету хімії та фармації.

УДК 54-3:628.1.03(075.8)

© Перлова О. В., Солдаткіна Л. М., 2022
© Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, 2022

З М І С Т

ВСТУП	4
Правила техніки безпеки	5
Лабораторне заняття № 1. Визначення органолептичних та фізичних показників якості природних вод	8
Лабораторне заняття № 2. Адсорбційна очистка стічних вод, що містять барвники	22
Лабораторне заняття № 3. Очистка стічних вод від йонів важких металів методом йонного обміну	29
Лабораторне заняття № 4. Знесолення природних вод методом йонного обміну	36
Лабораторне заняття № 5. Очистка стічних вод гальванічних виробництв від йонів важких металів методом флотації	44
Лабораторне заняття № 6. Очистка стічних вод, що містять емульговані нафтопродукти, методом флотації	53
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	61

ВСТУП

У теперішній час в Україні діє Водне законодавство, яке складають: Закон "Про охорону навколишнього природного середовища"; Водний кодекс України; Закон "Про питну воду та питне водопостачання та водовідведення"; Закон "Про питну воду"; Закон "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення"; Правила приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення; Правила користування системами централізованого комунального водопостачання, водовідведення в населених пунктах України.

Враховуючи надзвичайно велику увагу, яку наша держава приділяє сфері охорони водних ресурсів, правилам використання природних вод та скидання стічних вод у відкриті водойми чи системи водовідведення, студентам факультету хімії та фармації запропонована вибіркова дисципліна «Хімія природних та стічних вод». Метою дисципліни є засвоєння студентами наукової та прикладної проблематики, пов'язаної з хімічними процесами, які відбуваються у природних та стічних водах на підставі основних законів природничих дисциплін.

При опануванні студентами дисципліни «Хімія природних та стічних вод» важливе місце належить лабораторному практикуму. Саме в лабораторії студенти знайомляться з практичним застосуванням теоретичних питань, які розглядаються на лекціях.

Працюючи у лабораторії, студент опановує методи та прийоми, дотримання яких дозволяє правильно поставити дослід і отримати реальні відомості про природні та стічні води, дозволяє накопичити досвід, який у подальшій самостійній діяльності хіміка та вчителя хімії дасть змогу студентові вирішувати наукові, педагогічні та виробничі задачі, підвищує зацікавленість до досліджень, поглиблює та закріплює практичні навички.

ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Виконання студентами лабораторних робіт з дисципліни «Хімія природних та стічних вод» розраховано на опанування та закріплення навичок експериментальної роботи. Студенти виконують лабораторні роботи в хімічній лабораторії тільки в присутності викладача або лаборанта, суворо дотримуючись правил техніки безпеки.

До виконання лабораторної роботи допускається студент, який:

- ознайомився з правилами техніки безпеки при роботі в хімічній лабораторії та пройшов інструктаж з техніки безпеки;
- усвідомив мету і задачі роботи, методика експерименту, ознайомився з інструкціями щодо роботи приладів та властивостей хімічних реактивів, які застосовуються в роботі.

Перед початком роботи викладач перевіряє готовність студента до виконання лабораторної роботи і приймає рішення про можливість допуску студента до виконання експериментальної частини лабораторної роботи.

Під час виконання лабораторної роботи на робочому місці не має бути нічого зайвого. При виконанні експериментальної частини лабораторної роботи студенти мають:

- суворо дотримуватися порядку роботи і послідовності операцій проведення дослідів;
- уважно спостерігати за експериментом, зазначати та фіксувати кожну його особливість;
- використовувати лише ті хімічні реактиви, які необхідні для виконання даної лабораторної роботи;

- після закінчення експерименту виключити електричні прилади та вимити посуд.

Запам'ятайте!

1. Студенти в лабораторії виконують експериментальні роботи в спеціальних халатах (спецодязі); забороняється працювати у верхньому одязі та головних уборах.

2. При нещасних випадках потрібно негайно повідомити викладача або лаборанта.

3. Студенти зобов'язані підтримувати в лабораторії чистоту і порядок. Прийом їжі в лабораторії забороняється.

4. Роботи зі шкідливими хімічними речовинами потрібно виконувати під тягою при ввімкненій витяжній системі.

5. Забороняється виливати в раковину відпрацьовані концентровані кислоти і луги, органічні розчинники; для цього варто застосовувати спеціальні ємності.

6. У випадку загоряння одягу на людині слід гасити полум'я обгортанням у ковдру. Ні в якому разі не бігти!

7. При запаленні бензину, спирту, ефіру необхідно накрити полум'я азбестовим полотном чи засипати піском.

8. У випадку порізу склом треба переконатися, що в ранці немає осколків, і ватою, змоченою етиловим спиртом, видалити кров, змазати йодом і забинтувати.

9. *При термічних опіках* (від вогню, пари, гарячих предметів чи електричної дуги) накласти пов'язку (марля, бинт), змочену розчином із масовою часткою натрій гідрокарбонату (харчової соди) 2 %. Не можна змазувати опік вазеліном чи жиром.

10. *При опіках кислотами* насухо промокнути, не втираючи, опік чистим рушником, промити великою кількістю холодної води, а потім розчином із масовою часткою натрій гідрокарбонату 2 %.

11. *При опіках лугами* – обмити уражену ділянку водою і нейтралізувати розчином із масовою часткою етанової кислоти 2 %.

12. При раптовому знеструмленні лабораторії потрібно виключити всі електричні прилади.

13. *При ураженні електричним струмом* потрібно вимкнути джерело струму та відсунути потерпілого від проводів електричного струму, застосовуючи предмети, які не проводять електричний струм. Потерпілому робити штучне дихання і викликати швидку допомогу.

14. Неуважна та неохайна робота зі ртуттю або приладами, які містять ртуть, може привести до її пролиття на столі або підлозі та диспергування у вигляді крапель. У цьому випадку ртуть збирають за допомогою амальгованої платівки в ємкість з водою, після чого обробляють забруднене місце 20 % розчином феррум(III) хлориду.

Лабораторне заняття № 1

ВИЗНАЧЕННЯ ОРГАНОЛЕПТИЧНИХ ТА ФІЗИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПРИРОДНИХ ВОД

Мета: сформуванати у студентів вміння та навички визначення органолептичних та фізичних показників якості природних вод.

Основні поняття: органолептичні показники якості води, мутність, прозорість, концентрація суспендованих речовин, кольоровість води, запах, питома електрична провідність, густина.

Обладнання: аналітичні терези; кондуктометр; фотоелектроколориметр; нефелометр; електрична плитка; термометр; пікнометр; кювети; широкогорла колба; годинникове скло; фільтр Шотта № 4; гумова груша; фільтрувальний папір.

Навчальний час: 4 години

ПЛАН

I. Організаційний момент

II. Основні теоретичні відомості (для підготовки до занять)

Мутність води характеризує зменшення прозорості води у зв'язку з наявністю неорганічних і органічних тонкодисперсних зависей, а також завдяки розвитку планктонних організмів. Причинами мутності води може бути наявність в ній піску, глини, неорганічних сполук (алюміній гідроксиду, карбонатів різних металів), окиснення сполук Феруму і Мангану киснем повітря, що призводить до утворення колоїдних частинок, а також наявність органічних домішок або живих істот (бактерію-, фіто- або зоопланктону). Розмір частинок, які зумовлюють мутність води, коливається від 10^{-7} – 10^{-5} см (колоїдні частинки) до більш за 0,1 мм в діаметрі (грубодисперсні частинки). Основну частину завислих речовин у більшості природних вод складають частинки ґрунту, що виносяться з поверхні землі в результаті ерозій. Для вимірювання

мутності природних вод використовують гравіметричний, візуальний та оптичні (нефелометричний, турбідиметричний) методи. Оптичні методи базуються на вимірюванні інтенсивності світла, що розсіялося частинками домішок.

У теперішній час основною є фотометрична методика вимірювання мутності за формазином (стандарт ISO 7027). Згідно з цим стандартом, одиницею вимірювання мутності є FNU (*Formazine Nephelometric Unit*). Агенція захисту навколишнього середовища США і Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) використовують для вимірювання мутності одиницю NTU – *Nephelometric Turbidity Unit* (НОМ – *нефелометрична одиниця мутності*). Результати, отримані нефелометричним способом, виражають в NTU, а візуальним – в JTU. $1 \text{ FTU} = 1 \text{ NTU} = 0,053 \text{ JTU}$.

Таблиця 1.1

Нормативи мутності питної води

Країна / нормативний документ	Норматив мутності, NTU
Україна, ДСанПіН 2.2.4-171.10	1,0
Україна, ДСТУ 2874-82	1,5
ВООЗ	5,0
ЄС, директива 98/83/ЄС	1,0
Франція, Китай, Фінляндія, Канада, США	1,0

Гумінові і фульвокислоти, їх розчинені солі (ферум(III) гумати і фульвати), а також водорості можуть надавати воді забарвлення. Інтенсивність забарвлення води характеризують кольоровістю.

Кольоровість – один з органолептичних показників якості води, обумовлений вмістом в ній органічних і неорганічних речовин природного і техногенного походження.

Кольоровість води можна визначити візуальним та фотометричним методами. Визначення істинної кольоровості проводиться після видалення з проби води завислих речовин шляхом

фільтрування. Метод фотометричного визначення кольоровості базується на вимірюванні оптичної густини проби води відносно дистильованої води із застосуванням *хром-кобальтової* або *платино-кобальтової* шкали (шкали Хазена). Кольоровість виражають у градусах *платино-кобальтової шкали (Pt-Co)* або *хром-кобальтової (Cr-Co) шкали*. За платино-кобальною шкалою 1000 умовних градусів кольоровості відповідає забарвленню розчину, що містить 2,49 г $K_2[PtCl_6]$ і 2,08 г $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ в 1 дм³ води, а за хром-кобальною шкалою – забарвленню розчину, що містить 0,175 г $K_2Cr_2O_7$ і 4 г $CoSO_4 \cdot 7H_2O$ в 1 дм³ води (ДСТУ 3351-46). У країнах Європи та США кольоровість виражають у PCU (*Platinum Cobalt Color Unit*): 1 PCU = 1 градус Pt-Co шкали.

Таблиця 1.2

Нормативи кольоровості питної води

Країна / нормативний документ	Норматив кольоровості, градус Pt-Co шкали
Україна, ДСанПіН 2.2.4-171.10	25
ВООЗ	15
ЄС, директива 98/83/ЄС	20
США, US EPA	15

Запах і смак води – ознака вмісту в ній розчинених солей, різних хімічних і органічних сполук. Запах і смак природних вод зумовлені розчиненими солями, газами і органічними сполуками, що утворюються в процесі життєдіяльності водних організмів. **Запах** викликають леткі пахучі речовини. На запах води впливає вміст розчинених речовин, температура, значення рН і деякі інші фактори. Запах води характеризується видами запаху (ароматичний (А), болотний (Б), гнильний (Г), деревинний (Д), землистий (З), пліснявий (П), рибний (Р), сірководневий (С), трав'янистий (Т), невизначений (Н)) та інтенсивністю запаху.

Інтенсивність запаху води визначають органолептичним шляхом при 20 і 60 °С і виражають в балах (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Характеристика інтенсивності запаху природних вод

Інтенсивність запаху, бал	Характеристика	Описові визначення
0	Запаху немає	Відсутність відчутного запаху
1	Дуже слабкий	Запах, який не помічається споживачем, але виявляється досвідченим дослідником
2	Слабкий	Запах, який не привертає уваги споживача, але виявляється ним, якщо звернути увагу на нього
3	Помітний	Запах, який легко виявляється і може дати привід відноситися до води із задоволенням
4	Виразний	Запах, який звертає на себе увагу і вода стає неприємною для споживання
5	Дуже сильний	Запах сильний настільки, що робить воду непридатною для споживання

Результати визначення запаху води представляють таким чином: Р3 (рибний запах інтенсивністю 3 бали), А2 (ароматичний запах інтенсивністю 2 бали) тощо.

Смак природної води визначається розчиненими в ній речовинами органічного та неорганічного походження і розрізняється за характером та інтенсивністю. Розрізняють чотири основних види смаку: солоний, кислий, солодкий, гіркий. Всі інші різновиди смакових відчуттів називаються присмаками (лужний, металевий, терпкий тощо). Якісну характеристику присмаків виражають описово: хлорний, рибний тощо. Солоний смак води в більшості випадків обумовлений розчиненим в ній натрій хлоридом, гіркий – магній сульфатом, кислий – надлишком розчиненої карбонатної

кислоти. Чорнильний і залізистий присмаки надають воді розчинені в ній солі феруму і мангану, лужний – сода і луги, в'язучий – кальцій сульфат. Інтенсивність смаку і присмаку визначають органолептичним методом при 20 °С і оцінюють за п'ятибальною шкалою. Воду джерел, сумнівних в санітарному відношенні, перед випробуванням необхідно прокип'ятити.

Таблиця 1.4

Нормативи запаху і смаку питної води

Країна / нормативний документ	Норматив запаху (60 °С)	Норматив смаку (20 °С)
Україна, ДСанПіН 2.2.4-171.10	2 бали	2 бали
ВООЗ	Не нормується	
ЄС, директива 98/83/ЄС	Прийнятний для споживачів	
США, US EPA	3 TON	-

Густина води – важливий показник її якості. Густина природних вод – це фактор, який визначає умови пересування водних організмів на різних глибинах, і залежить від температури, тиску та вмісту розчинених та тонкодиспергованих завислих речовин. Густина води збільшується при зростанні концентрації розчинених речовин, зокрема солоності. Так, густина морської води коливається в межах від 1020 до 1033 кг/м³. На кожні 10 м глибини водойми тиск зростає на 100 кПа (1 атм). Це зумовлює залежність густини води від тиску. На кожні 1000 м глибини морів та океанів внаслідок впливу стовпа води густина води збільшується на 4,5-4,9 кг/м³. На максимальних океанських глибинах (близько 11 км) густина води складає 1076 кг/м³ при солоності 35 ‰. При дуже великому вмісті тонкодисперсних завислих речовин (до 220 кг/м³) річкові каламутні води (наприклад, річка Хуанхе, яка впадає у затоку Жовтого моря) мають густину на 2-2,5 кг/м³ більшу за морські води.

Густину води визначають експериментально за допомогою спеціального пристрою – ареометра або ваговим (пікнометричним) методом. У нормативних документах України та інших країн чисельне значення густини води не нормується.

Електрична провідність – це кількісний вираз здатності водних розчинів, зокрема, природних і стічних вод, проводити електричний струм. На практиці використовується поняття питомої електричної провідності, яка позначається буквою κ (*каппа*) і вимірюється в См/м (S/m) – Сіменс на метр, мСм/м – міліСіменс на метр, мкСм/м – мікроСіменс на метр (СІ). Питома електрична провідність залежить від природи і концентрації розчинених в них електролітів, температури та інших факторів. Вона є інструментально вимірюваною характеристикою, яка пов'язана з мінералізацією (солевмістом) води. Питома електрична провідність води у відкритому водоймищі складає від 300 до 1200 мкСм/см. Для наближеної оцінки солевмісту води (TDS – *Total Dissolved Solids*) слід перевести питому електричну провідність (мкСм/см) у TDS (мг/дм³): $TDS = \kappa \cdot K$, де K – коефіцієнт перерахунку за стандартним розчином KCl (ця речовина є міжнародним стандартом для калібрування кондуктометрів) лежить в межах 0,50–0,57. Питома електрична провідність вимірюється за допомогою спеціального приладу – кондуктометра.

Згідно з Директивою ЄС 98/83/ЄС питома електрична провідність питної води не має перевищувати 2500 мкСм/см при 20 °С, а згідно з нормативами ВООЗ – 500-1500 мкСм/см. В Україні та США питома електрична провідність води не нормується; вважають що її величина 2000 мкСм/см приблизно відповідає загальній мінералізації в 1000 мг/дм³.

III. Контроль опорних знань

3.1. Вимоги до теоретичної готовності студентів до виконання лабораторного заняття

В результаті підготовки до заняття студент повинен

Знати:

- складові природних вод, які зумовлюють мутність, кольоровість, запах, смак, густину та електричну провідність природних вод;
- методи визначення органолептичних та фізичних показників якості води;
- одиниці вимірювання та нормативні значення органолептичних та фізичних показників якості води.

Вміти:

- визначати мутність води фотометричним та нефелометричним методами, кольоровість води фотометричним методом, запах і смак води органолептичним методом, густину природної води пікнометричним методом, питому електричну провідність природної води за допомогою кондуктометра;
- проводити розрахунки мутності та густини природних вод;
- визначати вміст завислих речовин та кольоровості води за градуювальними графіками;
- визначати загальну мінералізацію природної води за величиною питомої електричної провідності.

3.2. Питання для перевірки вхідних знань

1. Які органолептичні показники якості води Ви знаєте?
2. Які методи визначення мутності та прозорості води Ви знаєте?
3. Яка речовина є сучасним первинним стандартом для визначення мутності?
4. Які Ви знаєте одиниці вимірювання мутності? Прозорості?
5. Які методи визначення кольоровості води Ви знаєте?
6. Які фактори впливають на запах природних вод?

7. Якими методами можна визначити запах і смак природних вод?
8. Які методи визначення густини води Ви знаєте?
9. Яка величина називається електричною провідністю води?
Наведіть одиниці вимірювання питомої електричної провідності.
10. Які речовини, присутні у воді, зумовлюють її електричну провідність?

3.3. Тести для перевірки вхідного рівня знань

1. Який показник якості природних вод обумовлює наявність в них гумінових та фульвокислот і їх розчинених солей?

- | | |
|------------------|--------------|
| А) кольоровість; | Б) мутність; |
| В) запах; | Г) смак. |

2. Згідно з ДСТУ і ДСанПіН запах води, придатної для господарсько-питного водоспоживання, не має перевищувати (при 60 °С):

- | | |
|------------|------------|
| А) 4 бали; | Б) 3 бали; |
| В) 2 бали; | Г) 1 бал. |

3. При яких температурах проводиться визначення запаху води?

- | | |
|-----------------|-----------------|
| А) 20 та 25 °С; | Б) 15 та 20 °С; |
| В) 20 та 60 °С; | Г) 60 та 70 °С. |

4. Яким методом визначається кольоровість води?

- | | |
|---------------------|-------------------------|
| А) гравіметричним; | Б) фотоколориметричним; |
| В) нефелометричним; | Г) візуальним. |

5. Згідно з ДСТУ і ДСанПіН твердість питної води має бути:

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| А) ≤ 12 ммоль/л; | Б) ≤ 7 ммоль/л; |
| В) ≤ 5 ммоль/л; | Г) ≤ 14 ммоль/л. |

6. Який показник якості природних вод обумовлює наявність в них грубодисперсних домішок та водоростей?

- | | |
|------------------|--------------|
| А) кольоровість; | Б) мутність; |
| В) запах; | Г) смак. |

7. Згідно з ДСТУ і ДСанПіН кольоровість води, придатної для господарсько-питного водоспоживання, не має перевищувати:

4.2. Визначення кольоровості води

Кольоровість визначають фотометричним методом за допомогою біхромат-кобальтової шкали. Попередньо пробу досліджуваної води відфільтруйте через фільтр Шотта № 4 (для усунення частинок, які зумовлюють мутність води). Після цього виміряйте оптичну густину відфільтрованої проби (A) на фотоелектроколориметрі (темно-фіолетовий світлофільтр $\lambda=400$ нм, товщина кювети $l = 5$ см).

4.3. Визначення запаху і смаку води

Для визначення запаху досліджуваної води колбу (місткістю 300 мл) заповніть водою на $2/3$, колбу накрийте годинниковим склом і струсіть обертальними рухами. Після цього зніміть годинникове скло і втягніть носом повітря з колби. Повторіть дослід, нагрівши досліджувану воду до 60 °С.

Смак визначають лише для природної води. При визначенні смаку і присмаку відберіть 15-20 мл питної води та тримайте її декілька секунд у роті.

4.4. Визначення густини води

Густину води визначають ваговим (піднометричним) методом. Зважте чистий сухий піднометр на аналітичних терезах з точністю до 0,001 г. Заповніть піднометр дистильованою водою до мітки, висухіть його зовнішню поверхню фільтрувальним папером і зважте на аналітичних терезах. Після цього вилийте дистильовану воду, заповніть піднометр досліджуваною водою і знову зважте на аналітичних терезах.

4.5. Визначення питомої електричної провідності води

Питому електричну провідність досліджуваної води вимірюють за допомогою кондуктометра. Для цього в комірку кондуктометра налейте 30 мл досліджуваної води і запишіть дані приладу ($\text{мСм}\cdot\text{см}^{-1}$ або $\text{мкСм}\cdot\text{см}^{-1}$).

V. Порядок обробки результатів дослід (спостережень)

5.1. Заповніть таблицю за результатами експерименту:

Природна вода _____

№	Показник якості води	Метод вимірювання	Вимірювана величина	Чисельне значення	Одиниці вимірювання	Регламентоване значення	Висновок
1	Мутність води	Фотоколориметричний	$A =$		m^{-1}		
		Нефелометричний	$h_e =$				
2	Концентрація суспендованих речовин				mg/dm^3		
3	Кольоровість води		$A =$		град		
4	Запах води		$20\text{ }^\circ C$		бал		
			$60\text{ }^\circ C$		бал		
5	Смак води		$20\text{ }^\circ C$		бал		
6	Густина води		$m_0 =$ $m_1 =$ $m_2 =$		kg/m^3		
7	Питома електрична провідність		$\alpha =$		$cm \cdot m^{-1}$		

5.2. За отриманими експериментальними даними обчисліть органолептичні та фізичні показники якості дослідженої природної води.

Для цього:

1. Розрахуйте мутність води τ , визначену фотометричним методом, за допомогою рівняння:

$$\tau(\text{фотометр.}) = \frac{2,3A}{l},$$

де A – оптична густина проби; l – товщина кювети, м.

2. Розрахуйте мутність води τ , визначену нефелометричним методом, за допомогою рівняння:

$$\tau(\text{нефелометр.}) = \tau_e \cdot 10000 / (h_e \cdot h_x)$$

де h_x – відлік за лівим барабаном; τ_e – мутність еталонної призми ($\tau_e = 0,45 \text{ м}^{-1}$); h_e – відлік за правим барабаном у випадку розміщення у світлову камеру нефелометру еталонної призми мутності ($h_e = 6$).

3. За допомогою одержаних значень мутності розрахуйте концентрацію суспендованих речовин в досліджуваній пробі за допомогою відповідних градуювальних графіків (в наявності у лаборанта).

4. Визначте значення кольоровості води за допомогою відповідного градуювального графіка (в наявності у лаборанта).

5. Розрахуйте густину досліджуваної природної води ρ (кг/м^3) за рівнянням:

$$\rho = \rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0},$$

де m_0 – маса порожнього пікнометра, г; m_1 – маса пікнометра з дистильованою водою, г; m_2 – маса пікнометра з досліджуваною водою, г; $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ – густина дистильованої води, кг/м^3 .

6. Наведіть результати вимірювання питомої електричної провідності у СІ ($\text{См} \cdot \text{м}^{-1}$).

7. Результати розрахунків внесіть у таблицю (п. 5.1).

VI. Порядок оформлення та захисту виконаної лабораторної роботи, критерії оцінювання

У робочому зошиті необхідно навести: назву роботи, мету роботи, методи визначення показників якості води, формули,

необхідні для розрахунків, таблицю з внесеними даними дослідів, здійснені розрахунки, порівняння визначених показників якості води з нормативними показниками; зроблені висновки щодо придатності досліджуваної води до господарсько-питного споживання.

Захист лабораторної роботи передбачає:

- відповідь на контрольні питання;
- перевірку письмового звіту про виконання лабораторної роботи.

VII. Контрольні питання

1. Наведіть нормативні показники мутності та прозорості води в Україні, ЄС та США.
2. Які домішки, присутні у воді, зумовлюють її мутність? Які фактори впливають на величину мутності води?
3. Які присутні у природних водах речовини зумовлюють їх кольоровість? Які фактори впливають на кольоровість води?
4. В яких одиницях вимірюється інтенсивність кольоровості води? Наведіть нормативні показники кольоровості природної води в Україні та ЄС.
5. Якими присутніми у природних водах речовинами обумовлений їх запах і смак?
6. В яких одиницях і за яких умов вимірюється інтенсивність запаху і смаку природних вод? Наведіть відповідні нормативні показники в Україні та ЄС.
7. Які фактори впливають на густину води?
8. Які фактори впливають на електричну провідність води?

Тестові контрольні завдання

1. При визначенні якого показника якості води використовується формазаин як первинний стандарт?

- | | |
|------------------|-----------------------------|
| А) кольоровості; | Б) мутності; |
| В) лужності; | Г) електричної провідності. |

Лабораторне заняття № 2

АДСОРБЦІЙНА ОЧИСТКА СТІЧНИХ ВОД, ЩО МІСТЯТЬ БАРВНИКИ

Мета: сформувати у студентів вміння та навички очистки стічних вод, що містять барвники, методом адсорбції.

Основні поняття: адсорбція, адсорбент, адсорбат, ступінь очистки води.

Обладнання: конічні колби (об'єм 250 мл) з пробками – 4 шт.; апарат для струшування; ступка з товкачиком; аналітичні терези; воронки – 4 шт.; фотоелектроколориметр КФК-2; кювети з товщиною поглинаючого шару 0,5 см.

Реактиви: модельні розчини барвників ($C=200$ мг/л), що імітують стічні води підприємств легкої промисловості, дистильована вода.

Навчальний час: 4 години

ПЛАН

I. Організаційний момент

II. Основні теоретичні відомості (для підготовки до занять)

Адсорбцією називають процес поглинання (концентрування) розчинених чи газоподібних речовин поверхнею твердого тіла або рідини. Речовина, на поверхні якої відбувається адсорбція, називається адсорбентом, а речовина, що адсорбується – адсорбатом.

Адсорбцію використовують для глибокої очистки стічних вод від розчинених органічних речовин (фенолів, гербіцидів, пестицидів, ароматичних нітросполук, барвників, поверхнево-активних речовин (ПАР) тощо), якщо концентрація цих речовин невелика. Як адсорбенти використовують активоване вугілля, деякі відходи виробництва (попіл, шлаки, тирса, ошурки тощо), глини, силікагелі, алюмогелі та інші.

Швидкість процесу адсорбції залежить від природи розчинених речовин, їх концентрації в розчині, температури, виду і властивостей адсорбенту.

В загальному випадку процес адсорбції складається з трьох стадій:

- 1) перенесення речовини з об'єму стічної води до поверхні адсорбента;
- 2) власно адсорбційного процесу;
- 3) перенесення речовини усередині пор адсорбента.

Якщо швидкість процесу лімітується швидкістю 1 або 3 стадії, говорять, що процес адсорбції відбувається у дифузійній області (відповідно, зовнішньо- чи внутрішньодифузійній). В цих випадках для підвищення ефективності процесу та збільшення швидкості адсорбції адсорбент подрібнюють і використовують інтенсивне перемішування.

Якщо швидкість процесу лімітується швидкістю другої стадії, говорять, що процес адсорбції відбувається у кінетичній області. Для збільшення швидкості адсорбції в цьому випадку зазвичай підвищують температуру очищуваної води.

III. Контроль опорних знань

3.1. Вимоги до теоретичної готовності студентів до виконання лабораторних занять

В результаті підготовки до заняття студент повинен

Знати:

- суть адсорбційного методу очистки стічних вод;
- межі використання адсорбційного методу очистки стічних вод;
- принципи вибору адсорбентів для вилучення політантів певної природи;
- способи інтенсифікації процесу адсорбції;
- формули для розрахунку ефективності адсорбційного методу

очистки стічних вод.

Вміти:

- експериментально здійснювати адсорбційну очистку стічних вод від розчинених барвників;
- визначати залишкову концентрацію барвників в очищеній воді фотоколориметричним методом;
- проводити розрахунки ефективності адсорбційного методу очистки стічних вод.

3.2. Питання для перевірки вхідних знань

1. Наведіть визначення адсорбції.
2. До якої групи методів очистки природних та стічних вод відноситься адсорбція?
3. Для очистки стічних вод від яких поллютантів використовується адсорбція?
4. В чому полягає суть адсорбційного методу очистки стічних вод?
5. Яка речовина називається адсорбентом? Яка адсорбатом?

3.3. Тести для перевірки вхідного рівня знань

1. Який розмір частинок характерний для домішок, які утворюють з водою молекулярні розчини?

А) $10^{-8} \div 10^{-7}$ см;

Б) $10^{-7} \div 10^{-5}$ см;

В) $10^5 \div 10^7$ см;

Г) $10^{-5} \div 10^{-3}$ см.

2. Як називається метод, який використовують для очистки стічних вод від розчинених газів?

А) флотація;

Б) адсорбція;

В) флокуляція;

Г) коагуляція.

3. Оберіть твердження, яке вірно характеризує промислові стічні води:

А) рідкі відходи, які виникають під час видобутку та переробки органічної та неорганічної сировини;

Б) рідкі відходи, склад яких приблизно постійний та мало змінюється в залежності від місцезнаходження;

В) утворюються внаслідок випадання атмосферних осадів, а також такі, що стікають з територій підприємств.

4. Як називається метод, який використовують для очистки стічних вод від розчинених органічних речовин?

- | | |
|----------------|----------------|
| А) флотація; | Б) адсорбція; |
| В) флокуляція; | Г) коагуляція. |

5. До якої групи методів очистки стічних вод відноситься метод адсорбції?

- | | |
|---------------------------|----------------------|
| А) біологічні методи; | Б) хімічні методи; |
| В) фізико-хімічні методи; | Г) механічні методи. |

6. В якому агрегатному стані зазвичай використовують адсорбенти при очистці стічних вод?

- | | |
|-------------------|------------------|
| А) рідкому; | Б) твердому; |
| В) газоподібному; | Г) в будь-якому. |

7. Оберіть адсорбент для очистки стічних вод від фенолів:

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| А) активоване вугілля; | Б) каолін; |
| В) силікагель; | Г) йонообмінна смола. |

8. Яким чином можливо інтенсифікувати адсорбційну очистку стічних вод, якщо процес адсорбції протікає у зовнішньо-дифузійному режимі?

- | | |
|---------------------------|---|
| А) підвищити температуру; | Б) подрібнити адсорбент; |
| В) збільшити розмір пор; | Г) збільшити інтенсивність перемішування. |

IV. Порядок виконання роботи та дотримання техніки безпеки

Студенти виконують лабораторну роботу в хімічній лабораторії тільки в присутності викладача або лаборанта, суворо дотримуючись правил техніки безпеки.

Порядок виконання роботи

1. Приготуйте чотири модельні розчини, що містять різні барвники, з концентрацією 200 мг/л.
2. Оберіть адсорбент. Подрібніть його у порцеляновій ступці.
3. Зважте на аналітичних терезах чотири однакових наважки адсорбенту (0,5-5 г за завданням викладача).
3. Пронумеруйте конічні колби. В кожну колбу помістіть наважку адсорбенту та налейте 100 мл розчину певного барвника, щільно закрийте колби пробками.
4. Помістіть колби в апарат для струшування. Увімкніть апарат. Зазначте час початку струшування. Проведіть процес адсорбції протягом часу, зазначеного викладачем (30-90 хв).
5. Вимкніть апарат для струшування коли мине заданий час.
6. Підготуйте 4 колби з воронками та паперовими фільтрами, пронумеруйте їх.
7. Відфільтруйте вміст колб після адсорбції у відповідні колби, відкидаючи перші 5 мл фільтрату.
8. Виміряйте оптичну густину кожного фільтрату відносно дистильованої води, використовуючи фотоелектроколориметр (КФК-2). Довжину хвилі для вимірювання уточніть у лаборанта (вона змінюється залежно від природи барвника).
9. Запишіть умови вимірювань та результати вимірювань.

V. Порядок обробки результатів дослідів (спостережень)

5.1. Заповніть таблицю за результатами експерименту:

Адсорбент _____; наважка адсорбенту __ г; час адсорбції __ хв

Адсорбат	Оптична густина після дослідів	Концентрація адсорбату, мг/л		Ступінь очистки S, %	Питома адсорбція A, мг/г
		до дослідів, C ₀	після дослідів, C		
		200			
		200			
		200			
		200			

5.2. За отриманими експериментальними даними встановіть ефективність адсорбційного методу очистки води від барвників

Для цього:

1. На підставі виміряних значень оптичної густини очищеної води визначте концентрацію кожного адсорбату в розчині після адсорбції за градувальними графіками (в наявності у лаборанта). Запишіть одержані результати у таблицю (п. 5.1).

2. Розрахуйте ступінь адсорбційної очистки води від кожного дослідженого барвника за рівнянням:

$$S = \frac{C_0 - C}{C_0} \cdot 100, \%$$

Запишіть одержані результати у таблицю (п. 5.1).

3. Розрахуйте питому адсорбцію кожного барвника за рівнянням:

$$A = \frac{(C_0 - C) \cdot V}{m},$$

де V – об'єм розчину адсорбату, л; m – маса (наважка) адсорбенту, г.

Запишіть одержані результати у таблицю (п. 5.1).

VI. Порядок оформлення та захисту виконаної лабораторної роботи, критерії оцінювання

У робочому зошиті необхідно навести: назву роботи, мету роботи, стислий теоретичний зміст, формули, необхідні для розрахунків, таблицю з внесеними даними дослідів, здійснені розрахунки, аналіз одержаних результатів; зроблені висновки щодо доцільності та ефективності застосування адсорбційного методу для очистки стічних вод від розчинених барвників.

Захист лабораторної роботи передбачає:

- відповідь на контрольні питання;
- перевірку письмового звіту про виконання лабораторної роботи.

VII. Контрольні питання

1. Які переваги та недоліки має метод адсорбції?
3. Які різновиди адсорбційних методів Ви знаєте?
4. Порівняйте адсорбційну очистку стічних вод у динамічному та статичному режимах.
5. Запропонуйте адсорбенти для очистки побутових стічних вод. Відповідь обґрунтуйте.
6. Що треба знати для вибору способу інтенсифікації адсорбційного методу очистки стічних вод?

VIII. Підведення підсумків та зарахування роботи

Лабораторне заняття № 3

ОЧИСТКА СТИЧНИХ ВОД ВІД ЙОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ МЕТОДОМ ЙОННОГО ОБМІНУ

Мета: сформувати вміння та навички очистки стічних вод, що містять йони важких металів, йонообмінним методом.

Основні поняття: йонний обмін, іоніт, катіоніт, обмінна ємність, динамічна обмінна ємність.

Обладнання: колонка, заповнена катіонітом КУ-2 в Na-формі; колонка, заповнена катіонітом КУ-2, попередньо обробленим 0,02 % розчином аніонної ПАР; колонка, заповнена катіонітом КУ-2, попередньо обробленим 0,02 % розчином катіонної ПАР; циліндри; склянки; фільтрувальний папір.

Реактиви: Модельний розчин купрум(II) сульфату, що імітує стічну воду гальванічного виробництва. Розчин $K_4[Fe(CN)_6]$.

Навчальний час: 4 години

ПЛАН

I. Організаційний момент

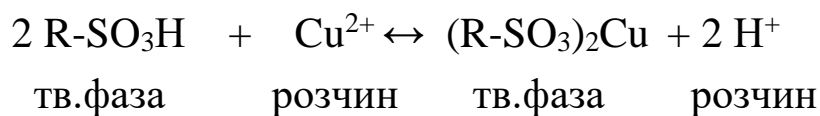
II. Основні теоретичні відомості (для підготовки до занять)

Йонний обмін являє собою процес взаємодії розчину з твердою фазою, яка здатна обмінювати йони, що містяться в ній, на інші йони того ж самого знаку, які є у розчині.

Речовини, з яких складається тверда фаза, називаються іонітами. Вони практично не розчиняються у воді. Йонний обмін відбувається в еквівалентних кількостях і є оборотним процесом, що дозволяє здійснювати регенерацію іонітів.

Для вилучення йонів важких металів (Cu^{2+} , Ni^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} , Hg^{2+} тощо) з розбавлених водних розчинів метод йонного обміну є більш перспективним за інші, оскільки дозволяє не тільки очищати воду від йонів важких металів, але й регенерувати іоніти та повертати солі

важких металів у виробництво. Наприклад, йонний обмін йонів Cu^{2+} з використанням катіоніту КУ-2-8 відбувається за схемою:



Кількісною характеристикою йонообмінного вилучення певних йонів у динамічних умовах є динамічна обмінна ємність іоніту (ДОЄ) – ємність до «проскакування» йонів у фільтрат. На її величину впливають різні фактори: природа йонів, що вилучаються, та їх концентрація у розчині, природа іоніту, швидкість пропускання очищеної води крізь іоніт тощо.

На ДОЄ іонітів значною мірою впливають поверхнево-активні речовини (ПАР). Залежно від хімічної будови іоніту і ПАР їх вплив на ДОЄ іоніту буде різним. Наприклад, аніонні ПАР (калій капринат, калій лаурат, натрій лаурілсульфат, сульфонол тощо), до складу яких входять негативно заряджені функціональні групи, сприяють підвищенню ДОЄ катіонітів і дещо збільшують швидкість процесу. Катіонні ПАР (дециламоній хлорид, додецилпіридиній хлорид, ГПХ-3, АНП-2, ТАА тощо), до складу яких входять позитивно заряджені функціональні групи, погіршують йонний обмін йонів важких металів і знижують ДОЄ катіоніту внаслідок часткового заміщення протийонів катіоніту на органічний катіон.

III. Контроль опорних знань

3.1. Вимоги до теоретичної готовності студентів до виконання лабораторних занять

В результаті підготовки до заняття студент повинен

Знати:

- межі використання йонообмінного методу очистки стічних вод;
- суть йонообмінного методу очистки стічних вод;
- режими здійснення йонообмінного методу очистки стічних вод;

- визначення обмінної ємності іоніту, співвідношення між ПОЄ, СОЄ і ДОЄ;
- визначення іонітів.

Вміти:

- проводити очистку стічних вод від йонів важких металів йонообмінним методом у динамічних умовах;
- здійснювати якісне визначення йонів Купруму в розчинах;
- визначати об'єм розчинів за допомогою мірного циліндру;
- проводити розрахунки ДОЄ іоніту.

3.2. Питання для перевірки вхідних знань

1. У чому полягає суть йонного обміну?
2. Які межі використання йонообмінного методу очистки стічних вод?
3. Які кількісні характеристики іонітів Вам відомі?
4. Які існують засади вибору іонітів для очистки стічних вод від певних поліютантів?

3.3. Тести для перевірки вхідного рівня знань

1. Який метод використовується для очистки стічних вод від солей важких металів, якщо їх концентрація невелика?

- | | |
|------------------|---------------------|
| А) осадження; | Б) нейтралізація; |
| В) йонний обмін; | Г) центрифугування. |

2. Який розмір частинок характерний для домішок, які утворюють з водою іонні розчини?

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| А) $10^{-9} \div 10^{-8}$ см; | Б) $10^5 \div 10^7$ см; |
| В) $10^{-7} \div 10^{-5}$ см; | Г) $10^{-5} \div 10^{-3}$ см. |

3. Для очистки стічних вод від ціанід-йонів можна використовувати такі методи:

- | | |
|---------------------------|------------------|
| А) окиснення-відновлення; | Б) йонний обмін; |
| В) коагуляція; | Г) фільтрування. |

Порядок виконання роботи

1. Підготуйте досліджуваний розчин купрум(II) сульфату (концентрація солі обирається за завданням викладача). Заповніть колонку катіонітом КУ-2. Запишіть масу катіоніту та вихідну концентрацію солі.

2. Залийте розчин у колонку, заповнену катіонітом, відкрийте кран 5 та встановіть швидкість пропускання розчину через катіоніт 200 мл/год (приблизно 3 мл/хв). Фільтрат збирайте у циліндр (колбу).

3. Кожні 10 мл фільтрату (вода, пропущена крізь катіоніт) збирайте у чисті склянки.

4. В кожній пробі фільтрату якісно визначайте вміст йонів Купруму. Для цього на фільтрувальний папір нанесіть дві краплі розчину $K_4[Fe(CN)_6]$ та дві краплі фільтрату. Цегляно-коричневе забарвлення свідчить про наявність йонів Купруму у пробі.

5. Пропускайте воду крізь катіоніт, відбирайте проби фільтрату по 10 мл і визначайте в них вміст йонів Купруму, доки у трьох послідовних пробах фільтрату не з'являться сліди йонів Купруму. Останнє свідчить про те, що відбулося „проскакування” йонів Купруму, тобто ємність катіоніту за даних робочих умов вичерпана.

6. Запишіть одержані дані у таблицю (п. 6.1), позначаючи знаком (-) відсутність йонів Купруму у пробі, а знаком (+) присутність йонів Купруму у пробі.

7. Залийте модельний розчин купрум(II) сульфату в колонку, заповнену катіонітом, попередньо обробленим аніонною ПАР.

8. Виконайте п. п. 2-6.

9. Залийте модельний розчин купрум(II) сульфату в колонку, заповнену катіонітом, попередньо обробленим катіонною ПАР.

10. Виконайте п. п. 2-6.

Рекомендація. П. п. 2-9 можна виконувати паралельно.

VI. Порядок обробки результатів дослід (спостережень)

6.1. Заповніть таблицю за результатами експерименту:

Номер проби фільтрату	Об'єм розчину купрум(II) сульфату, мл	Катіоніт, не оброблений ПАР	Катіоніт, оброблений аніонною ПАР	Катіоніт, оброблений катіонною ПАР
		Результати визначення йонів Купруму у фільтраті		
1	10			
2	20			
3	30			
4	40			
...	...			

6.2. За отриманими експериментальними даними:

1. Обчисліть динамічну обмінну ємність (ДОЄ) (ммоль/г) абсолютно сухої маси катіоніту за рівнянням

$$ДОЄ = \frac{Q \cdot n \cdot 100}{m \cdot (100 - W)},$$

де n – кількість проб фільтрату об'ємом 10 мл до „проскакування” йонів купруму; m – наважка сухого катіоніту, г; W – вміст води в катіоніті, % (зазвичай $W = 5\%$); Q – вміст йонів Купруму в пробі об'ємом 10 мл, ммоль (розраховується із врахуванням вихідної концентрації розчину та об'єму проби).

2. Занесіть результати розрахунків у таблицю

№	Досліджуваний катіоніт	Наважка катіоніту, г	ПАР	ДОЄ, ммоль/г
1	КУ-2		-	
2	КУ-2		аніонна	
3	КУ-2		катіонна	

3. Порівняйте ДОЄ вихідного катіоніту і катіоніту, обробленого аніонною та катіонною ПАР. Поясніть одержані результати.

4. Напишіть рівняння реакції йонного обміну, що відбулася в ході виконання роботи.

VII. Порядок оформлення та захисту виконаної лабораторної роботи, критерії оцінювання

У робочому зошиті необхідно навести: назву роботи, мету роботи, стислий теоретичний зміст, формули, необхідні для розрахунків, таблицю з внесеними даними дослідів, здійснені розрахунки, аналіз одержаних результатів; зроблені висновки щодо доцільності та ефективності застосування йонообмінного методу для очистки стічних вод від йонів важких металів.

Захист лабораторної роботи передбачає:

- відповідь на контрольні питання;
- перевірку письмового звіту про виконання лабораторної роботи.

VIII. Контрольні питання

1. Запропонуйте іоніт для вилучення йонів Cr^{3+} із стічних вод. Напишіть рівняння реакції.
2. Запропонуйте іоніт для вилучення йонів $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ із стічних вод. Напишіть рівняння реакції.
3. Напишіть рівняння реакції регенерації катіоніту та аніоніту.
4. Які обмеження використання методу йонного обміну для очистки природних та стічних вод?

IX. Підведення підсумків та зарахування роботи

Лабораторне заняття № 4

ЗНЕСОЛЕННЯ ПРИРОДНИХ ВОД МЕТОДОМ ЙОННОГО ОБМІНУ

Мета: сформувати у студентів вміння та навички знесолення природних вод методом йонного обміну.

Основні поняття: йонний обмін, іоніт, катіоніт, аніоніт, протийон, функціональна група іоніту.

Обладнання: колонка, заповнена катіонітом КУ-2 в Н-формі; колонка, заповнена аніонітом в ОН-формі; бюретки (2 шт.); конічні колби (250 мл – 2 шт.); склянки; піпетки з поділками; піпетки Мора (100 мл – 2 шт.); гумова груша; фільтрувальний папір.

Реактиви: досліджувана природна вода; реактиви для визначення загальної лужності (0,1 М розчин HCl, розчин метилоранжу) та загальної твердості (0,05 М розчин трилону Б, аміачний буферний розчин, еріохром чорний Т).

Навчальний час: 4 години

ПЛАН

I. Організаційний момент

II. Основні теоретичні відомості (для підготовки до занять)

За знаком заряду йонів, що обмінюються, іоніти поділяються на катіоніти (наприклад, Dowex HCR-S, Dowex MAC-3, містять катіонообмінні функціональні групи $-\text{SO}_3\text{H}$, $-\text{COOH}$ та ін.), аніоніти (наприклад, Purolite A400, Dowex SBR-C, містять аніонообмінні функціональні групи $-\text{NH}_3\text{Cl}$, $=\text{NH}_2\text{Cl}$, $-\text{NR}_3\text{OH}$ та ін.) та амфоліти (наприклад, Dowex Retardion 11A8, містять аніонообмінні та катіонообмінні функціональні групи).

За константами дисоціації функціональних груп розрізняють іоніти, що виявляють властивості сильних кислот (катіоніти) або сильних основ (аніоніти), наприклад, сильнокислотний

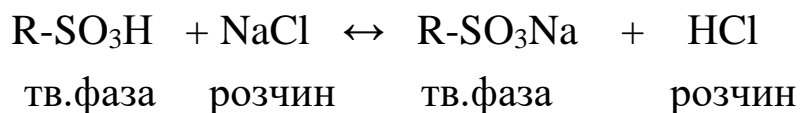
сульфокатіоніт КУ-2-8, сильноосновні аніоніти з четвертинними аміногрупами – АВ-17-8, Amberlite IRA-400. Їх обмінна ємність максимальна і постійна в широкому інтервалі рН середовища.

В процесах водопідготовки використовують також іоніти, що виявляють властивості слабких кислот (катіоніти) і слабких основ (аніоніти), наприклад, слабкокислотний карбоксильний катіоніт КБ-4П, слабкоосновний аніоніт АН-23, що містить піридинові групи та інші. Їх обмінна ємність максимальна тільки при певному значенні рН середовища – високому для катіонітів і низькому для аніонітів.

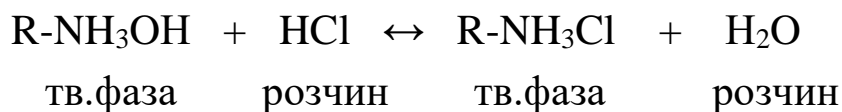
До складу іоніту входять полімерна матриця, функціональна група та протийон. Наприклад, склад сильнокислотного катіоніту КУ-2-8 у Н-формі можна представити таким чином: R-SO₃H, де R – полімерна матриця, -SO₃⁻ – функціональна група, H⁺ – протийон.

Йонний обмін є ефективним методом знесолення та пом'якшення природних вод, зокрема, в процесах водопідготовки на теплових і атомних електростанціях. Для отримання знесоленої води використовують спеціальне обладнання, одна колонка якого заповнена сильнокислотним катіонітом у Н-формі, а друга – сильноосновним аніонітом в ОН-формі.

Нехай з природної води слід вилучити розчинений натрій хлорид. При пропущенні такої води крізь катіоніт в Н-формі з природної води усуваються йони Na⁺ внаслідок перебігу реакції:

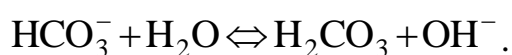
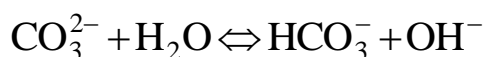


Одержаний при цьому розчин HCl пропускається крізь аніоніт в ОН-формі; при цьому з води усуваються аніони Cl⁻:



Отже, природна вода, послідовно пропущена крізь колонки з катіонітом і аніонітом, знесолюється. При цьому зменшується загальний солеміст, загальна лужність і загальна твердість води.

Загальна лужність води визначається вмістом у воді гідроксильних йонів та аніонів слабких кислот (карбонатів, гідрокарбонатів, силікатів, боратів, сульфітів, гідросульфітів, сульфідів, гідросульфідів, аніонів гумінових кислот, фосфатів). Оскільки вміст перших двох аніонів набагато більший, ніж інших, загальна лужність визначається лише аніонами карбонатної кислоти. Ці аніони гідролізують з утворенням гідроксил-йонів:



Розрізняють загальну, карбонатну і некарбонатну твердість води. Загальна твердість води обумовлена вмістом розчинних солей кальцію і магнію (ммоль/л=мг-екв/л). Загальна твердість води – це сума карбонатної (тимчасової) і некарбонатної (сталогої) твердості. Карбонатна твердість пов'язана з присутністю у воді кальцій і магній гідрокарбонатів. Вона майже повністю видаляється за допомогою кип'ятіння води. Некарбонатна твердість обумовлена присутністю інших розчинних солей: Кальцію і Магнію (сульфатів, хлоридів, нітратів); при кип'ятінні води вона не видаляється.

III. Контроль опорних знань

3.1. Вимоги до теоретичної готовності студентів до виконання лабораторних занять

В результаті підготовки до заняття студент повинен

Знати:

- суть використання йонообмінного методу для знесолення та пом'якшення природних вод;
- класифікацію іонітів за зарядом йонів, що обмінюються;
- класифікацію іонітів за ступенем дисоціації функціональних груп;
- визначення загальної лужності та твердості води.

Вміти:

- проводити знесолення природних вод йонообмінним методом у динамічних умовах;
- здійснювати визначення загальної твердості води комплексонометричним методом;
- здійснювати визначення тимчасової твердості (загальної лужності) води ацидиметричним методом.

3.2. Питання для перевірки вхідних знань

1. Які види іонів Ви знаєте? Наведіть приклади.
2. Наведіть складові частини іонів.
3. Чому для знесолення води слід використовувати катіоніт в Н-формі, а аніоніт в ОН-формі?
4. В яких формах використовують іони в побутових фільтрах для пом'якшення води?
5. Які складові природних вод зумовлюють загальну лужність води? Загальну твердість води? Тимчасову твердість води?

3.3. Тести для перевірки вхідного рівня знань

1. Для знесолення води, яка використовується на теплових і атомних електростанціях, використовують такий метод:
 - А) йонний обмін;
 - Б) коагуляція;
 - В) флотація;
 - Г) окиснення-відновлення.
2. Який катіоніт доцільно використовувати для знесолення та пом'якшення води в широкому інтервалі рН?
 - А) сильнокислотний в Н-формі;
 - Б) слабкокислотний в Н-формі;
 - В) сильнокислотний в Na-формі;
 - Г) сильноосновний в ОН-формі.
3. Яка властивість йонного обміну лежить в основі регенерації іонітів?
 - А) висока ефективність;
 - Б) селективність;

В) еквівалентність;

Г) оберненість.

4. Який аніоніт доцільно використовувати для знесолення та пом'якшення води в широкому інтервалі рН?

А) сильнокислотний в Н-формі;

Б) слабкоосновний в ОН-формі;

В) сильнокислотний в Na-формі;

Г) сильноосновний в ОН-формі.

IV. Опис лабораторної установки (об'єкта спостереження) та вимірювальної апаратури

Для виконання досліду використовується установка (див. рис. 1).

V. Порядок виконання роботи та дотримання техніки безпеки

Студенти виконують лабораторну роботу в хімічній лабораторії тільки в присутності викладача або лаборанта, суворо дотримуючись правил техніки безпеки.

Порядок виконання роботи

1. Оберіть досліджувану воду (водопровідна вода, морська вода, річкова вода, лиманна вода, прудова вода тощо).

2. Визначте загальну лужність досліджуваної води до очистки (знесолення) методом ацидиметричного титрування. Для цього відберіть піпеткою Мора 100 мл проби, помістіть її в конічну колбу для титрування, додайте 2-3 краплі розчину індикатора метилоранжу, ретельно перемішайте вміст колби. Проведіть титрування води 0,1 М розчином НС1 до переходу забарвлення розчину від жовтого до золотисто-рожевого.

3. Визначте загальну твердість досліджуваної води до очистки (знесолення) комплексонометричним методом. Для цього відберіть піпеткою Мора 100 мл проби, помістіть її у конічну колбу для титрування, додайте такий саме об'єм 0,1 М розчину НС1, який пішов на титрування при визначенні загальної лужності води, 5 мл

аміачного буферного розчину з рН=10, дрібку індикатора еріохрому чорного Т (у вигляді сухої 2 % суміші з NaCl). Ретельно перемішайте вміст колби. Проведіть титрування води 0,05 М розчином трилону Б до переходу від червоно-винного забарвлення розчину до фіолетового, а потім до синього.

Увага! Якщо досліджуваною водою є морська вода, об'єм проби, взятий на титрування, може бути зменшений до 10 мл.

4. Пропустіть 200 мл досліджуваної води крізь колонку, заповнену катіонітом, зі швидкістю 200 мл/год.

5. Зберіть воду, пропущену крізь катіоніт, у чисту склянку.

6. Пропустіть воду, пропущену крізь катіоніт, крізь колонку, заповнену аніонітом, зі швидкістю 200 мл/год.

7. Зберіть очищену (знесолену) воду у чисту склянку.

8. Визначте загальну лужність досліджуваної води після очистки (знесолення). Методика визначення наведена у п. 2.

9. Визначте загальну твердість досліджуваної води до очистки (знесолення). Методика визначення наведена у п. 3.

VI. Порядок обробки результатів дослід (спостережень)

6.1. Заповніть таблицю за результатами експерименту:

Досліджувана вода _____

	Об'єм HCl, витрачений на титрування, мл	Об'єм трилону Б, витрачений на титрування, мл
До йонного обміну (V_1)		
Після йонного обміну (V_2)		

6.2. За отриманими експериментальними даними:

1. Розрахуйте загальну лужність (L) досліджуваної води (ммоль/л) до та після очистки за рівнянням:

$$L = \frac{V_{HCl} \cdot C_{HCl}}{V_{проби}} \cdot 1000,$$

де V_{HCl} – об'єм HCl (мл), витрачений на титрування проби об'ємом $V_{проби}$ (мл); C_{HCl} – молярна концентрація розчину HCl (моль/л), взятого для титрування.

2. Розрахуйте ступінь зменшення загальної лужності води (α_1):

$$\alpha_1 = \frac{L_0 - L}{L_0} \cdot 100\%,$$

де L_0 і L – загальна лужність досліджуваної води, відповідно, до і після очистки.

3. Розрахуйте загальну твердість (T) досліджуваної води (ммоль/л) до та після очистки за рівнянням:

$$T = \frac{V_{Трилону} \cdot C_{Трилону}}{V_{проби}} \cdot 1000,$$

де $V_{Трилону}$ – об'єм трилону Б (мл), витрачений на титрування проби об'ємом $V_{проби}$ (мл); $C_{Трилону}$ – молярна концентрація еквівалента розчину Трилону Б (моль/л), взятого для титрування.

4. Розрахуйте ступінь зменшення загальної твердості води (α_2)

$$\alpha_2 = \frac{T_0 - T}{T_0} \cdot 100\%,$$

де T_0 і T – загальна твердість досліджуваної води (ммоль/л), відповідно, до та після очистки.

5. Занесіть одержані дані у таблицю

	Загальна лужність, ммоль/л	Загальна твердість, ммоль/л
До йонного обміну		
Після йонного обміну		
Ступінь зменшення (α), %		

6. Порівняйте показники якості досліджуваної води до та після очистки.

7. Зіставте показники якості досліджуваної води після очистки з нормативними показниками.

8. Напишіть рівняння хімічних реакцій, що відбулися, з врахуванням зміни загальної лужності та загальної твердості досліджуваної води.

VII. Порядок оформлення та захисту виконаної лабораторної роботи, критерії оцінювання

У робочому зошиті необхідно навести: назву роботи, мету роботи, стислий теоретичний зміст, формули, необхідні для розрахунків, таблицю з внесеними даними дослідів, здійснені розрахунки, аналіз одержаних результатів; зроблені висновки щодо доцільності та ефективності застосування йонообмінного методу для знесолення води.

Захист лабораторної роботи передбачає:

- відповідь на контрольні питання;
- перевірку письмового звіту про виконання лабораторної роботи.

VIII. Контрольні питання

1. Обґрунтуйте доцільність використання методу йонного обміну для знесолення води на теплових і атомних електростанціях. Напишіть рівняння реакцій, які при цьому відбуваються.
2. Запропонуйте іоніти для пом'якшення водопровідної води.
3. Як Ви гадаєте, яким чином зміниться рН очищеної води після її пропускання крізь катіоніт? Крізь аніоніт? Послідовно крізь обидва іоніти?
4. Чому загальна лужність води відповідає тимчасовій твердості води?
5. Напишіть рівняння усунення тимчасової твердості води (кип'ятіння, реагентна обробка, йонний обмін).

IX. Підведення підсумків та зарахування роботи

Лабораторне заняття № 5

ОЧИСТКА СТИЧНИХ ВОД ГАЛЬВАНІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ ВІД ЙОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ МЕТОДОМ ФЛОТАЦІЇ

Мета: сформувати у студентів вміння та навички очистки стічних вод, що містять йони важких металів, методом флотації.

Основні поняття: флотація, колігенд, збирач, сублат, поверхнево-активна речовина, ступінь очистки води, ступінь переходу розчину в піну.

Обладнання: флотаційна установка пневматичного типу; йономір універсальний; склянки (100 мл – 5 шт., 400 мл – 1 шт.); піпетки з поділками (2 мл – 1 шт., 10 мл – 1 шт.); піпетка Мора (15 мл – 1 шт.); циліндр (50 мл); мірні колби (25 мл – 5 шт.); шпатель; гумова груша; фотоелектроколориметр КФК-2; кювети з товщиною поглинаючого шару 5 см; фільтрувальний папір; скляна паличка.

Реактиви: модельні розчини купрум(II) сульфату, які імітують стічні води гальванічних виробництв ($C(\text{Cu}^{2+}) = 100 \text{ мг/л}$); розчин флотаційного збирача (калій лаурат $\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{COOK}$ (0,4 %)); розчин КОН (0,1 М); розчин амоніаку (5 %) для аналізу; дистильована вода.

Навчальний час: 4 години

ПЛАН

I. Організаційний момент

II. Основні теоретичні відомості (для підготовки до занять)

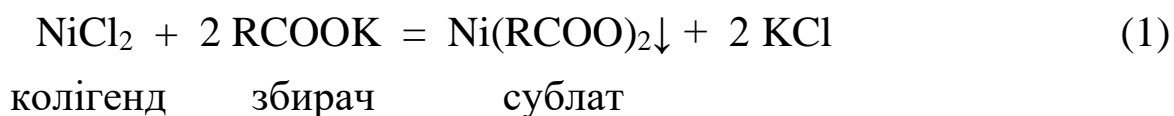
Флотаційний метод використовують для усунення з води органічних та неорганічних домішок різного ступеня дисперсності, які присутні в дисоційованому або недисоційованому стані, а також для селективного вилучення цінних, токсичних та радіоактивних речовин з розбавлених водних розчинів.

Універсальність флотації як методу фазового розділення і концентрування розчинів дозволяє розглядати її як перспективний метод комплексної очистки вод, які містять забруднення різного ступеня дисперсності.

Для очистки стічних вод від йонів важких металів використовують метод йонної флотації – один з різновидів флотаційного методу. В межах йонної флотації розрізняють метод осаджувальної флотації, флотоекстракції, сорбційної флотації (флотації з носієм) тощо. Усі ці варіанти йонної флотації спрямовані на те, щоб у певний спосіб перевести йони важких металів, що містяться у стічних водах, із гідрофільного в гідрофобний стан.

При описі процесів флотаційного вилучення розчинених речовин, зокрема, йонів важких металів, використовують терміни «колігенд», «збирач», «сублат». Йони або молекули, які вилучаються флотацією, називаються колігендом. Поверхнево-активна речовина (ПАР), яка взаємодіє з колігендом і надає йому гідрофобні властивості, називається збирачем. Продукт взаємодії колігенда зі збирачем, у складі якого колігенд закріплюється на поверхні бульбашок повітря, називається сублат.

Осаджувальна флотація, або флотація осадів, підрозділяється на флотацію осадів I роду (гідрофобізованих осадів) та флотацію осадів II роду (гідрофобних осадів). В обох випадках здійснюється осадження йонів важких металів у формі їх важкорозчинних сполук та наступна флотація утворених осадів. Якщо як осаджувач використовують розчини флотаційних збирачів (ПАР), утворюються осади II роду, які мають гідрофобні властивості (гідрофобні осади), а отже, і здатність до флотації:



III. Контроль опорних знань

3.1. Вимоги до теоретичної готовності студентів до виконання лабораторних занять

В результаті підготовки до заняття студент повинен

Знати:

- суть флотаційного методу очистки стічних вод;
- межі використання флотаційного методу очистки стічних вод;
- принципи вибору флотаційних збирачів для вилучення поліютантів певної природи;
- принципи вибору різновиду йонної флотації для очистки стічних вод від йонів важких металів;
- формули для розрахунку ефективності флотаційного методу очистки стічних вод.

Вміти:

- експериментально здійснювати флотаційну очистку стічних вод від йонів важких металів;
- визначати залишкову концентрацію йонів Cu^{2+} в очищеній воді фотоколориметричним методом;
- проводити розрахунки ефективності флотаційного методу очистки стічних вод.

3.2. Питання для перевірки вхідних знань

1. Наведіть визначення флотації.
2. До якої групи методів очистки природних та стічних вод відноситься флотація?
3. Для очистки стічних вод від яких поліютантів використовується флотація?
4. В чому полягає суть флотаційного методу очистки стічних вод?
5. Яка речовина називається колігендом, флотаційним збирачем, сублатом?

3.4. Тести для перевірки вхідного рівня знань

1. Який розмір частинок характерний для домішок, які утворюють з водою зависі, суспензії та емульсії?

А) $10^{-9} \div 10^{-7}$ см;

Б) $10^{-7} \div 10^{-5}$ см;

В) $10^5 \div 10^7$ см;

Г) $10^{-5} \div 10^{-3}$ см.

2. Який з наведених методів очистки стічних вод є найбільш універсальним?

А) флотація;

Б) адсорбція;

В) флокуляція;

Г) коагуляція.

3. Для очистки стічних вод від йонів важких металів метод флотації доцільно використовувати, якщо їх концентрація складає:

А) більше 3 г/л;

Б) менше 1 мг/л;

В) $10^{-2} - 10^{-4}$ моль/л;

Г) $10^{-1} - 10^{-2}$ моль/л;

4. Оберіть флотаційний збирач для очистки стічних вод гальванічних виробництв від йонів Cr^{3+} у вигляді гідрофобного осаду:

А) натрій лаурилсульфат;

Б) парафін;

В) триалкіламін;

Г) трихлорометан.

5. До якої групи методів очистки стічних вод відноситься метод флотації?

А) біологічні методи;

Б) хімічні методи;

В) фізико-хімічні методи;

Г) механічні методи.

6. Без якої речовини неможливо здійснення будь-якого різновиду флотації?

А) повітря;

Б) іоніт;

В) ПАР;

Г) адсорбент.

IV. Опис лабораторної установки (об'єкта спостереження) та вимірювальної апаратури

Для виконання досліду використовується установка (рис. 2):

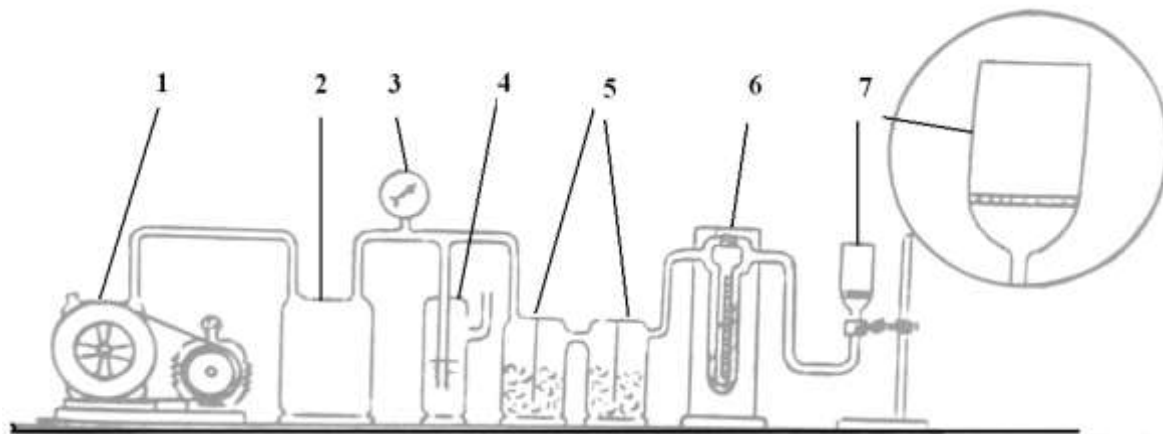


Рис. 2. Схема флотаційної установки пневматичного типу

1 – компресор; 2 – ресивер; 3 – манометр; 4 – маностат; 5 – склянки Тіщенко; 6 – реометр; 7 – флотаційна колонка (фільтр Шотта № 4)

V. Порядок виконання роботи та дотримання техніки безпеки

Студенти виконують лабораторну роботу в хімічній лабораторії тільки в присутності викладача або лаборанта, суворо дотримуючись правил техніки безпеки.

Порядок виконання роботи

1. Помістіть 250 мл вихідного розчину купрум(II) сульфату до склянки місткістю 400 мл.
2. Встановіть задане значення рН шляхом додавання по краплях 0,1 М розчину калій гідроксиду, за допомогою йонміру універсального.
3. Напишіть рівняння хімічної реакції, що відбувається.
4. Перемішайте одержану суспензію та налейте по 50 мл суспензії у 5 пронумерованих склянок місткістю 100 – 150 мл.
5. Додайте по краплях, ретельно перемішуючи, певну кількість збирача (див. таблицю) до кожної склянки за 1-2 хв до початку флотації. Напишіть рівняння реакції, яка відбувається.

Співвідношення між витратою збирача та об'ємом його розчину

Витрата збирача (q), мг/л	1	2	3	4	5
Об'єм 0,4 % розчину збирача (V), мл	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25

6. Зберіть флотаційну установку.

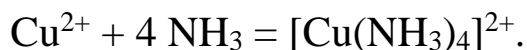
7. Увімкніть компресор, встановіть необхідну витрату повітря. Налийте суспензію зі склянки № 1 у флотаційну колонку.

8. Проведіть флотацію проби протягом 10 хв. Пінний продукт, який утворюється протягом флотації на поверхні, безупинно видаляйте механічним способом. Якісно опишіть зовнішній вигляд (колір, вологість, об'єм) пінного продукту.

9. Розчин після флотації вилийте з флотаційної колонки у відповідну склянку.

10. Після флотації визначте: об'єм (V) проби; рН; концентрацію (C) металу, що виділяється.

У випадку очистки стічних вод від йонів Купруму використовують фотоколориметричний метод. Проводять визначення йонів Купруму у формі аміакатів. При дії надлишку амоніаку на розчин солі Купруму з'являється інтенсивне синє забарвлення внаслідок утворення комплексних йонів:



В мірну колбу ємністю 25 мл внесіть 15 мл досліджуваного розчину. Потім прилийте 6 мл 5 % розчину амоніаку та доведіть до мітки дистильованою водою. Визначте оптичну густину в кюветах з товщиною поглинаючого шару 5 см при довжині хвилі 670 нм відносно холостої проби (15 мл дистильованої води, 6 мл 5 % розчину амоніаку, дистильована вода до мітки 25 мл). Концентрацію йонів Купруму в розчинах після флотації знайдіть за градувальним графіком (в наявності у лаборанта).

11. Виконайте п. п. 7-10 послідовно для кожної суспензії купрум(II) гідроксиду у присутності певного об'єму розчину збирача.

VI. Порядок обробки результатів дослід (спостережень)

6.1. Заповніть таблицю за результатами експерименту:

Витрата збирача (q), мг/л	Об'єм розчину, мл		рН		Концентрація Cu^{2+} , мг/л		Спостереження
	До флотації	Після флотації	До флотації	Після флотації	До флотації	Після флотації	
1							
2							
3							
4							
5							

6.2. За отриманими експериментальними даними:

1. Розрахуйте ступінь флотаційного вилучення йонів Купруму (α) за рівнянням:

$$\alpha = \frac{C_0 - C}{C_0} \cdot 100\%,$$

де C_0 і C – концентрація йонів Купруму в розчині (мг/л) відповідно до та після флотації.

2. Розрахуйте ступінь переходу розчину в піну (β) за рівнянням:

$$\beta = \frac{V_0 - V}{V_0} \cdot 100\%,$$

де V_0 і V – об'єм розчину відповідно до та після флотації.

3. Занесіть одержані дані у таблицю

Витрата збирача (q), мг/л	1	2	3	4	5
α , %					
β , %					

4. Побудуйте графіки залежності ступеня флотаційного вилучення (α) йонів Купруму та ступеня переходу розчину в піну (β) від витрати збирача на міліметровому папері або з використанням програми MS Excel.

5. Визначте оптимальні умови проведення флотаційного процесу, поясніть одержані результати.

VII. Порядок оформлення та захисту виконаної лабораторної роботи, критерії оцінювання

У робочому зошиті необхідно навести: назву роботи, мету роботи, стислий теоретичний зміст, формули, необхідні для розрахунків, таблиці з внесеними даними дослідів, здійснені розрахунки, аналіз одержаних результатів; зроблені висновки щодо доцільності та ефективності застосування флотаційного методу для очистки стічних вод від йонів важких металів.

Захист лабораторної роботи передбачає:

- відповідь на контрольні питання;
- перевірку письмового звіту про виконання лабораторної роботи.

VIII. Контрольні питання

1. Які сполуки є колігендом, збирачем та сублатом у даній роботі?
2. Який різновид флотації використовується в даній роботі?
3. Запропонуйте флотаційні збирачі для вилучення із стічних вод хромат- та біхромат-йонів. Напишіть рівняння хімічних реакцій.
4. Яким чином молекули (йони) ПАВ орієнтуються на поверхні гідрофільного осаду при адсорбції? Як цей процес змінює змочуваність поверхні осаду водою? Відповідь обґрунтуйте.

IX. Підведення підсумків та зарахування роботи

Лабораторне заняття № 6

ОЧИСТКА СТИЧНИХ ВОД, ЩО МІСТЯТЬ ЕМУЛЬГОВАНІ НАФТОПРОДУКТИ, МЕТОДОМ ФЛОТАЦІЇ

Мета: сформувати у студентів вміння та навички очистки стічних вод, що містять емульговані нафтопродукти, методом флотації.

Основні поняття: безреагентна флотація, флотоагрегат, крайовий кут змочування, змочуваність поверхні, незмочуваність поверхні, гідрофільна поверхня, гідрофобна поверхня, ступінь очистки води.

Обладнання: флотаційна установка пневматичного типу; йономір універсальний; склянки (100 мл – 7 шт.); піпетка з поділками (1 мл – 1 шт.); циліндри (50 мл – 2 шт.); мірні колби (25 мл – 5 шт.); гумова груша; шпатель; фотоелектроколориметр КФК-2; кювети з товщиною поглинаючого шару 2-5 см; фільтрувальний папір; скляна паличка.

Реактиви: свіжоприготована емульсія нафти, яка імітує стічні води нафтопереробних підприємств ($C(\text{емульсії}) = 100 \text{ мг/л}$); водний розчин катіонної ПАР ГПХ-3 (0,1 %); дистильована вода.

Навчальний час: 4 години

ПЛАН

I. Організаційний момент

II. Основні теоретичні відомості (для підготовки до занять)

Вилучення емульгованих нафтопродуктів із стічних вод багатьох промислових підприємств (нафтопереробних заводів, нафтобаз, портових споруд тощо) є досить поширеною складною задачею. Стічні води таких підприємств можна розглядати як низькоконцентровані емульсії, що містять дрібнодисперговані частинки розміром 0,1 – 10 мкм. Частинки такого розміру неможливо вилучити методами

механічної очистки (відстоюванням, фільтруванням), оскільки вони придатні для усунення з води частинок (крапель), більших за 10-50 мкм. В той же час, метод флотації дозволяє видаляти з води, яка очищається, дрібніші частинки (краплі).

Краплі нафтопродуктів є гідрофобними, тому для їх вилучення можливо використовувати безреагентну флотацію за умови дотримання співвідношення між розміром бульбашок повітря та крапель емульсії, що виділяється. Однак відомо, що і бульбашки повітря, і краплі емульсії нафтопродуктів заряджені негативно, що ускладнює закріплення крапель емульсії на поверхні бульбашок повітря при флотації внаслідок дії між ними сил електростатичного відштовхування. Для зменшення негативного заряду крапель емульсії нафти до неї перед флотацією додають невеликий об'єм катіонної ПАР, наприклад, ГПХ-3 (суміш хлоридів первинних алкіламінів $R_nNH_3^+Cl^-$, де $n = 12-18$).

Оптимальну витрату ПАР при вилученні емульгованих нафтопродуктів зазвичай встановлюють експериментально. Менша за оптимальну витрата (кількість) введеного ПАР може привести до недостатнього зменшення негативного заряду крапель емульсії, а кількість, більша за оптимальну – до гідрофілізації поверхні крапель емульсії нафти та до вилучення флотацією молекул ПАР замість крапель емульсії нафти внаслідок конкуренції між ними за місце на поверхні бульбашки повітря.

III. Контроль опорних знань

3.1. Вимоги до теоретичної готовності студентів до виконання лабораторних занять

В результаті підготовки до заняття студент повинен

Знати:

- суть та межі використання методу безреагентної флотації для очистки стічних вод;

- спосіб розрахунку роботи утворення флотоагрегату;
- визначення гідрофільних та гідрофобних поверхонь;
- способи визначення крайового кута змочування;
- способи зміни змочуваності поверхні.

Вміти:

- експериментально здійснювати флотаційну очистку стічних вод від емульгованих нафтопродуктів;
- визначати залишкову концентрацію емульгованих нафтопродуктів в очищеній воді;
- проводити розрахунки ефективності флотаційного методу очистки стічних вод.

3.2. Питання для перевірки вхідних знань

1. Порівняйте безреагентну та осаджувальну флотацію.
2. Наведіть визначення флотоагрегату.
3. Які вимоги висуваються до змочуваності домішок при їх вилученні методом флотації?
4. Яким чином можна визначити змочуваність поверхні?
5. Яким чином можливо регулювати змочуваність поверхні?
6. З якою метою використовують ПАР при очистці стічних вод від емульгованих нафтопродуктів?

9.3. Тести для перевірки вхідного рівня знань

1. Як називається метод очистки стічних вод, оснований на процесі взаємодії гідрофобних домішок з бульбашками повітря?

- | | |
|----------------|------------------|
| А) коагуляція; | Б) флотація; |
| В) флокуляція; | Г) йонний обмін. |

2. Який розмір бульбашок повітря є оптимальним для очистки стічних вод від нафтопродуктів?

- | | |
|----------------|-----------------|
| А) 100-200 нм; | Б) 150-300 мкм; |
| В) 15-30 мкм; | Г) 2-4 мкм. |

3. Оберіть вірну формулу для розрахунку роботи утворення флотоагрегату.

А) $A = \sigma \cdot (1 + \cos \Theta)$;

Б) $A = \sigma \cdot (1 - \cos \Theta)$;

В) $A = \sigma \cdot (1 + \sin \Theta)$;

Г) $A = \sigma \cdot (1 - \sin \Theta)$;

4. Яке значення крайового кута змочування характерне для гідрофобних поверхонь домішок?

А) $\Theta < 90^\circ$;

Б) $\Theta = 90^\circ$;

В) $\Theta > 90^\circ$;

Г) $\Theta = 0^\circ$;

5. Які частинки утворюють флотоагрегат?

А) бульбашки повітря одна з одною;

Б) частинки домішок одна з одною;

В) частинка домішки з бульбашкою повітря;

Г) усі відповіді вірні.

6. Який розмір крапель емульсій нафтопродуктів є оптимальним для ефективного здійснення процесу флотації?

А) 100-300 мкм;

Б) 20-100 нм;

В) 2-4 мкм;

Г) 100-300 нм.

IV. Опис лабораторної установки (об'єкта спостереження) та вимірювальної апаратури

Для виконання досліду використовується флотаційна установка пневматичного типу (див. рис. 2).

V. Порядок виконання роботи та дотримання техніки безпеки

Студенти виконують лабораторну роботу в хімічній лабораторії тільки в присутності викладача або лаборанта, суворо дотримуючись правил техніки безпеки.

Порядок виконання роботи

1. Побудуйте градувальний графік для визначення концентрації емульсії нафти після флотації.

1.1. Підготуйте 7 емульсій нафти різних концентрацій шляхом розведення свіжоприготованої вихідної емульсії ($C_0=100$ мг/л). Для цього в кожному з 7 склянок налийте певний об'єм вихідної емульсії нафти та дистильованої води.

№	Об'єм, мл		С(емульсії), мг/л	Коефіцієнт світлопропускання (Т), %
	емульсії	води		
1	50	0	100	
2	40	10	80	
3	30	20	60	
4	20	30	40	
5	10	40	20	
6	5	45	10	
7	2,5	47,5	5	
8	0	50	0	100

Ретельно перемішайте вміст кожної склянки.

1.2. В кювету з товщиною поглинаючого шару 2-5 см налийте дистильовану воду. Помістіть у фотоколориметр КФК-2.

1.3. В кювету з товщиною поглинаючого шару 2-5 см налийте емульсію зі склянки № 7. Помістіть у фотоколориметр КФК-2.

1.4. Виміряйте коефіцієнт світлопропускання емульсії (зелений світлофільтр, довжина хвилі 540 нм).

1.5. Запишіть одержаний результат у таблицю (п. 1.1).

1.6. Виконайте п. п. 1.3-1.5 послідовно для емульсій зі склянок № 6, 5, 4, 3, 2, 1.

2. Підготуйте 5 чистих пронумерованих склянок. В кожному з них налийте по 50 мл вихідної емульсії нафти ($C_0 = 100$ мг/л).

3. Додайте по краплях, ретельно перемішуючи, певний об'єм катіонної ПАР (табл.) до кожної склянки за 1-2 хв до початку флотації.

№	1	2	3	4	5
Витрата ПАР (q), мг/л	0	2	4	6	8
Об'єм (V) 0,1 % розчину ПАР, мл	0	0,1	0,2	0,3	0,4

4. Зберіть флотаційну установку.

5. Увімкніть компресор, встановіть необхідну витрату повітря. Налийте емульсію зі склянки № 1 у флотаційну колонку.

6. Проведіть флотацію проби протягом 10 хв. Продукт, який утворюється протягом флотації на поверхні, безупинно видаляйте механічним способом (шпателем).

7. Розчин (емульсію) після флотації вилийте з флотаційної колонки у відповідну склянку.

8. Виміряйте коефіцієнт світлопропускання розчину (емульсії) після флотації.

9. Одержаний результат запишіть у табл. (п. 6.2).

10. Виконайте п.п. 5-9 для емульсій зі склянок 2, 3, 4 і 5.

VI. Порядок обробки результатів дослідів (спостережень)

6.1. Побудуйте градувальник графік для визначення концентрації емульсії після флотації – залежність T від C(емульсії), використовуючи результати вимірювань, занесені у табл. п. 1.1, – на міліметровому папері або з використанням програми MS Excel.

6.2. Заповніть таблицю за результатами експерименту з флотації емульсії нафти:

№	Витрата ПАР (q), мг/л	Коефіцієнт світлопропускання (T) емульсії після флотації, %
1	0	
2	1	

3	2	
4	4	
5	6	

6.3. За отриманими експериментальними даними:

1. Визначте концентрацію C емульсії нафти після флотації за побудованим градувальним графіком.

2. Розрахуйте ступінь флотаційного вилучення дисперсної фази емульсії нафти (α) за рівнянням:

$$\alpha = \frac{C_0 - C}{C_0} \cdot 100\%,$$

де C_0 і C – концентрація емульсії (мг/л) відповідно до та після флотації.

3. Занесіть одержані дані у табл.

№	Витрата ПАР (q), мг/л	Концентрація (C) емульсії, мг/л		α , %
		До флотації	Після флотації	
1	0	100		
2	1	100		
3	2	100		
4	4	100		
5	6	100		

4. Побудуйте графік залежності ступеня флотаційного вилучення (α) емульсії нафти від витрати ПАР на міліметровому папері або з використанням програми MS Excel.

5. Визначте оптимальні умови проведення флотаційного процесу, поясніть одержані результати.

VII. Порядок оформлення та захисту виконаної лабораторної роботи, критерії оцінювання

У робочому зошиті необхідно навести: назву роботи, мету роботи, стислий теоретичний зміст, формули, необхідні для розрахунків, таблиці із внесеними даними дослідів, здійснені розрахунки, аналіз одержаних результатів; зроблені висновки щодо доцільності та ефективності застосування флотаційного методу для очистки стічних вод від емульсованих нафтопродуктів.

Захист лабораторної роботи передбачає:

- відповідь на контрольні питання;
- перевірку письмового звіту про виконання лабораторної роботи.

VIII. Контрольні питання

1. Чому для здійснення експерименту в даній роботі слід використовувати саме свіжоприготовану емульсію нафти?
2. Поясніть, який різновид флотації використовується для вилучення емульгованих нафтопродуктів.
3. Чому поверхня крапель емульсії нафти є гідрофобною?
4. Чому для вилучення гідрофобних частинок можна використовувати метод безреагентної флотації?
5. У чому полягає функція ПАР при вилученні емульгованих нафтопродуктів?
6. Як Ви вважаєте, чому слід дотримуватися певного співвідношення між розміром бульбашок та крапель емульсії при флотації?
7. Запропонуйте інші поверхнево-активні речовини, які можливо використовувати для інтенсифікації процесу флотаційного вилучення нафтопродуктів. Відповідь обґрунтуйте.
8. Яким чином молекули (йони) ПАР орієнтуються на поверхні крапель емульсії нафти? Який процес при цьому відбувається? Як цей процес змінює змочуваність поверхні краплі емульсії водою? Відповідь обґрунтуйте.

IX. Підведення підсумків та зарахування роботи

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Перлова О .В., Перлова Н. О. Органолептичні показники якості води : методичні вказівки до лабораторних занять та самостійної роботи з дисципліни «Хімія природних та стічних вод» для студентів ф-ту хімії та фармації. – Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2019. – 42 с.
2. Перлова О. В. Хімія природних та стічних вод : метод. посіб. для студентів ф-ту хімії та фармації. – Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2020. – 62 с.
3. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води. – К.: Вища школа, 2005.
4. Радовенчик Я., Гомель М., Шаблій Т. Фізико-хімічні основи процесів очищення води. – К.: Кондор, 2019. – 256 с.
5. Епоян С. М. та ін. Фізико-хімічні та біологічні методи очистки стічних вод. – Харків: Міськдрук, 2012. – 447 с.
6. Довідник сучасних технологій з очищення природної і стічної води та обладнання / За заг. ред. І. В. Панасюка. – К.: Медінформ, 2016. – 245 с.
7. Трус І. М., Галиш В. В., Скиба М. І. та ін. Нові високоефективні методи очищення води від розчинних та нерозчинних поліютантів. – К.: Кондор, 2020. – 272 с.
8. Рижков С. С., Луняка К. В., Самохвалов В. С., Літвак С. М. Обробка технологічних рідин та стічних вод. – Херсон: Вид-во «Олді+», 2018. – 316 с.
9. Мікробіологія і хімія води / І. М. Чуб. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2019. – 94 с.

Навчальне видання

Перлова Ольга Вікторівна
Солдаткіна Людмила Михайлівна

Хімія природних та стічних вод

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних занять
для студентів факультету хімії та фармації
Спеціальність 102 «Хімія», 014 «Середня освіта (Хімія)»

В авторській редакції

Підп. до друку 24.04.2022. Формат 60x84/16.
Ум.-друк. арк. 3,53. Тираж 12 пр.
Зам. № 2454.

Видавець і виготовлювач
Одеський національний університет
імені І. І. Мечникова

Україна, 65082, м. Одеса, вул. Єлісаветинська, 12
Тел.: (048) 723 28 39. E-mail: druk@onu.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4215 від 22.11.2011 р.