

*КОЖЕМЯК М.А., ТИМЧУК А.Ф.*

**ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ МЕТОДІВ КОНЦЕНТРУВАННЯ  
РОЗЧИНЕНИХ РЕЧОВИН**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ І САМОСТІЙНОЇ  
РОБОТИ ЗІ СПЕЦКУРСУ ДЛЯ СТУДЕНТІВ ХІМІЧНОГО ФАКУЛЬТЕТУ

**Напрямок підготовки 7.040101, 8.040101 Хімія  
ОКР «Спеціаліст», «Магістр»**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені І.І. МЕЧНИКОВА

*КОЖЕМЯК М.А., ТИМЧУК А.Ф.*

**ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ МЕТОДІВ КОНЦЕНТРУВАННЯ  
РОЗЧИНЕНИХ РЕЧОВИН**

**Методичні вказівки до лабораторних занять і самостійної роботи зі  
спецкурсу для студентів хімічного факультету**

**Напрямок підготовки 7.040101, 8.040101 Хімія  
ОКР «Спеціаліст», «Магістр»**

Одеса – 2013

«Різограф»

УДК544.1(075.8)  
ББК 24.562.1я73  
К 584

**Кожемяк М.А., Тимук А.Ф. Методичні вказівки до лабораторних робіт спецкурсу для студентів хімічного факультету: Методичні вказівки до лабораторного практикуму з дисципліни «Фізико-хімічні основи методів концентрування розчинених речовин» шифр за ОПП СП 3.06. Одеса, 2013 – 39 с.**

*Методичні вказівки призначені для вивчення дисципліни “Фізико-хімічні основи методів концентрування розчинених речовин” студентами хімічного факультету. В методичних вказівках наведено основні теоретичні відомості та практичні рекомендації до виконання лабораторних робіт. Методичні вказівки призначені для студентів, які спеціалізуються по кафедрі фізичної та колоїдної хімії.*

***Рецензенти:***

Пуріч О.М., канд. хім. наук, доцент кафедри фізичної та колоїдної хімії ОНУ імені І.І. Мечникова;

Труба А.С., канд. хім. наук, доцент кафедри неорганічної хімії та хімічної екології ОНУ імені І.І. Мечникова

УДК544.1(075.8)  
ББК 24.562.1я73

Друкується за рішенням  
Вченої ради хімічного факультету ОНУ  
Протокол № 1 від «20» вересня 2013 р.

©Кожемяк М.А., Тимчук А.Ф., 2013  
©Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, 2013

## З М І С Т

|                                                                                                                                                                                                                           | Ст<br>ор. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Вступ .....                                                                                                                                                                                                               | 5         |
| Порядок проведення лабораторних занять та правила техніки безпеки<br>при роботі в хімічній лабораторії .....                                                                                                              | 6         |
| Правила оформлення звітів лабораторних робіт .....                                                                                                                                                                        | 8         |
| Опис навчальної дисципліни.....                                                                                                                                                                                           | 9         |
| Мета та завдання навчальної дисципліни.....                                                                                                                                                                               | 10        |
| Програма навчальної дисципліни.....                                                                                                                                                                                       | 11        |
| Структура навчальної дисципліни.....                                                                                                                                                                                      | 16        |
| <u>Лабораторна робота №1. Термодинаміка розподілу ПАР між водною та<br/>органічною фазами.....</u>                                                                                                                        | 13        |
| <u>Лабораторна робота №2. Адсорбція іонів РЗЕ на поверхні часток тонко-<br/>диспергованих жирних кислот.....</u>                                                                                                          | 16        |
| <u>Лабораторна робота №3. Визначення оптимальної довжини вуглеводне-<br/>вого ланцюга ПАР, що використовуються з метою інтенсифікації проце-<br/>су флотаційного вилучення емульгованих органічних речо-<br/>вин.....</u> | 19<br>21  |
| <u>Лабораторна робота № 4. Флотаційне вилучення іонів важких мета-<br/>лів.....</u>                                                                                                                                       | 24        |
| <u>Лабораторна робота № 5. Вилучення жирних кислот методом адсорбції<br/>.....</u>                                                                                                                                        | 26        |
| Контрольні питання .....                                                                                                                                                                                                  | 28        |
| Рекомендована література .....                                                                                                                                                                                            | 30        |
| Додаток.....                                                                                                                                                                                                              | 32        |

## ВСТУП

В останні роки все більше уваги приділяється вивченню питань, пов'язаних з охороною навколишнього середовища, впливом токсичних речовин на стан довкілля та впровадженням найбільш сучасних методів вилучення токсичних речовин в практику. Основними забруднювачами навколишнього середовища є іони важких металів, поверхнево-активні речовини, екстрагенти, нафтопродукти, які потрапляють у стічні води промислових підприємств. Практика показує, що для вивчення здатності виділення забруднювачів з екологічно небезпечних стічних вод промислових підприємств тим чи іншим фізико-хімічним методом (іонною флотацією, адсорбцією, іонним обміном, екстракцією, коагуляцією та ін.), необхідно знати основні фізико-хімічні закономірності процесів. Курс, що вивчається на кафедрі фізичної та колоїдної хімії «Фізико-хімічні основи концентрування розчинених речовин» сприяють поглибленню знань студентів з суті поверхневих явищ, формують у студентів сучасні уявлення про основні важливіші методи концентрування розчинених речовин та їх теоретичне обґрунтування (термодинамічне та кінетичне), дозволяють свідомо обирати потрібні методи концентрування.

**Метою проведення лабораторних робіт є закріплення і поглиблення знань, що отримані при вивченні теоретичного матеріалу; розвинення прагнення студентів до подальшої науково-дослідницької роботи; набуття студентами необхідної для майбутньої професійної діяльності компетентності.**

## **ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ ТА ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ В ЛАБОРАТОРІЇ**

1. Перед виконанням лабораторного практикуму студент повинен пройти інструктаж з техніки безпеки роботи в хімічній лабораторії. Проходження інструктажу оформлюється документально з обов'язковим підписом студентів.

2. На початку заняття проводиться перевірка знань теоретичного матеріалу з теми лабораторної роботи з метою допущення студентів до виконання лабораторних дослідів.

3. Після проведення лабораторних дослідів передбачено обговорювання та порівняння результатів дослідження, захист протоколу лабораторної роботи.

Перед початком проведення кожного дослідів слід ознайомитися з його метою, проаналізувати хімічні та фізико-хімічні процеси, що відбуватимуться під час експерименту. У хімічній лабораторії необхідно дотримуватися правил поведінки та безпечної роботи. Недотримання правил техніки безпеки може призвести до травм, нещасних випадків, псування одягу або устаткування.

### **1. Загальні положення**

Робота в лабораторії повинна проводитись тільки в халатах; забороняється працювати у верхньому одязі й головних уборах.

Студенти зобов'язані підтримувати в лабораторії чистоту й порядок; під час роботи варто підтримувати тишу. Прийом їжі в лабораторії забороняється.

*У випадку якої б то не було події необхідно негайно доповісти про це викладачеві та лаборантові.*

Одержавши від викладача дозвіл на виконання роботи, студент повинен звернутися до чергового лаборанта й одержати від нього інструкцію із правил роботи на установці, що використовується; після цього з дозволу лаборанта студент може приступити до самостійної роботи. *Без дозволу викладача та лаборанта працювати на приладах й установках категорично забороняється.*

Робота із усякого роду летючими речовинами проводиться тільки у витяжній шафі. Особливої обережності необхідно дотримуватися при роботі з легкозаймистими рідинами (діетиловий етер, спирт, ацетон, вуглеводні та ін.). Роботу з останніми треба проводити вдалині від відкритого полум'я та електронагрівальних приладів.

Робота з концентрованими кислотами та лугами дозволяється тільки під тягою; там же в спеціально відведені склянки варто зливати використані органічні реактиви. При розведенні концентрованих розчинів кислот й лугів, а також зважуванні й розтиранні твердих лугів й інших їдких речовин необхідно надягати захисні окуляри й гумові рукавички.

Необхідно обережно поводитись при роботі із усякого роду електроустаткуванням; при виявленні несправності варто припинити роботу, звернутися до викладача або лаборанта та відключити прилад від мережі.

По закінченню роботи студенти зобов'язані виключити електроприлади, вимити використаний посуд, закрити водопровідні крани, прибрати своє робоче місце, здати лаборантові використаний посуд і реактиви й одержати дозвіл викладача покинути лабораторію.

## **2. Надання першої допомоги**

При невеликих термічних опіках варто змазати обпалене місце гліцерином або спиртом; при більш значних опіках обпалене місце варто змазати маззю від опіків та накладити пов'язку.

При потраплянні на шкіру кислоти необхідно негайно змити кислоту великою кількістю води, потім промити місце, що постраждало, 3 %-ним розчином соди, змазати маззю від опіків. При опіках лугом обпалене місце варто промити водою, потім розчином борної кислоти.

При потраплянні кислоти або лугу в око необхідно промити його водою, потім розчином соди або борної кислоти відповідно й внести в око краплю касторового масла.

У більш важких випадках варто викликати швидку допомогу.

## **ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТІВ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

Звіт лабораторної роботи повинен містити:

- назву та мету лабораторної роботи;
- стисли теоретичні відомості (за необхідності), основні розрахункові формули, рівняння хімічних реакцій;
- характеристику об'єктів дослідження, що були застосовані під час проведення дослідів;
- стислий опис методики виконання експерименту;
- спостереження, експериментальні дані та результати їхньої обробки, розрахунки, пояснення одержаних результатів, порівняння їх з літературними даними;
- висновки до певного досліду або до лабораторної роботи в цілому.

Запис результатів експерименту повинен відображати надійність даних і враховувати похибку вимірювання. Графіки рекомендовано будувати в електронному вигляді з використанням програми MS Excel.

## ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

| Найменування показників                                                                               | Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень                  | Характеристика навчальної дисципліни  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
|                                                                                                       |                                                                                   | <i>денна форма навчання</i>           |
| Кількість кредитів – 3                                                                                | Галузь знань<br>0401 Природничі науки                                             | За вибором                            |
| Модулів – 1<br>Змістових модулів – 2<br><br>Загальна кількість годин – 108                            | Спеціальність<br>(професійне спрямування)<br><br>7.040101 Хімія<br>8.040101 Хімія | <b><i>Рік підготовки</i></b>          |
|                                                                                                       |                                                                                   | 5-й                                   |
|                                                                                                       |                                                                                   | <b><i>Семестр</i></b>                 |
|                                                                                                       |                                                                                   | 9-й                                   |
| Тижневих годин для денної форми навчання<br><br>аудиторних – 7,<br>самостійної роботи студента – 2,6. | Освітньо-кваліфікаційний рівень:<br><br>Спеціаліст<br>Магістр                     | <b><i>Лекції</i></b>                  |
|                                                                                                       |                                                                                   | 28 годин                              |
|                                                                                                       |                                                                                   | <b><i>Практичні (семінарські)</i></b> |
|                                                                                                       |                                                                                   | –                                     |
|                                                                                                       |                                                                                   | <b><i>Лабораторні</i></b>             |
|                                                                                                       |                                                                                   | 40 годин                              |
|                                                                                                       |                                                                                   | <b><i>Самостійна робота</i></b>       |
|                                                                                                       |                                                                                   | 26 години                             |
|                                                                                                       |                                                                                   | <b><i>Індивідуальна робота</i></b>    |
|                                                                                                       |                                                                                   | 14 годин                              |
|                                                                                                       |                                                                                   | Вид контролю: <b><i>залік</i></b>     |

Примітка:

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної та індивідуальної роботи становить

для денної форми навчання - 1,7 : 1.

## МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Мета спецкурсу «Фізико-хімічні основи концентрування розчинених речовин»: розкрити суті явищ, які зумовлюють перебіг фізичних та хімічних процесів в різних системах при концентруванні розчинених речовин та їх специфіку, встановити зв'язок між ефективністю процесу концентрування та його термодинамічним обґрунтуванням та кінетичним описанням, навчити студентів вмінню застосовувати ці знання з метою вирішення конкретних завдань практики: керування процесом концентрування розчинених речовин та контролем перебігу процесу.

Основні завдання спецкурсу полягають в: поглибленні знань студентів з суті поверхневих явищ, формуванні у студентів сучасних уявлень про основні важливіші методи концентрування розчинених речовин та їх теоретичного обґрунтування (термодинамічного та кінетичного), навчанні свідомого обирання потрібних методів концентрування та проведенні їх порівняльної характеристики. Ці знання необхідні для здійснення обґрунтованого підходу до вирішення багатьох практичних питань.

Сучасний кваліфікований фахівець зобов'язаний оперативно використовувати специфічну інформацію про конкретний процес, у першу чергу про кінетичні його параметри, термодинамічні умови перебігу хімічних реакцій, що лежать в основі технологічних процесів, володіти глибокими знаннями про фізико-хімічну структуру вихідних речовин, які беруть участь в технологічному процесі, вміти виявляти оптимальні умови його проведення з досягненням заданого кінцевого результату.

У результаті вивчення даного спецкурсу студент повинен

знати:

- сучасні уявлення про поверхневі явища і адсорбцію на межі поділу фаз;
- основні методи концентрування розчинених речовин та області їх застосування,

- принципову можливість використання того чи іншого методу для вирішення практичних задач;
- можливості термодинамічного та кінетичного підходу для передбачення ефективності того чи іншого методу;

вміти:

- здійснювати фізико-хімічний (термодинамічний) аналіз перебігу того чи іншого методу;
- зв'язувати одержані теоретичні знання з задачами практики;
- кваліфіковано трактувати фізичну та хімічну суть явищ, які мають місце при здійсненні певного методу концентрування розчинених речовин;
- з'ясовувати вплив різних факторів на швидкість процесів та встановлення в будь-яких системах рівноваги;
- підбирати умови здійснення процесу, які здатні забезпечити найбільш повний та швидкий його перебіг;
- обчислювати термодинамічні та кінетичні параметри різних процесів, прогнозувати можливість та умови їх проведення;
- проводити фізико-хімічні розрахунки за допомогою відомих рівнянь та формул, оцінювати точність вимірювання необхідних величин;
- користуватись сучасними довідниками з фізичної хімії та орієнтуватися в сучасній спеціальній літературі.

## **ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Змістовий модуль 1 (ЗМ1). Фізико-хімічне обґрунтування методів концентрування.

### **Тема 1. Термодинамічні основи методів концентрування.**

Термодинамічні основи утворення зародків нової фази. Загальні закономірності гомогенного зародкоутворення (за Гіббсом - Фольмером). Крис-

талізація (конденсація) із розчину. Виникнення центрів конденсації. Гетерогенне утворення нової фази.

Нерівноважні явища в розчинах: осмос та дифузія. Осмотичні властивості дисперсних систем. Осмотичний тиск та його зв'язок з частковою концентрацією, масами частинок та їх радіусом. Осмотичний тиск в потрійних системах. Мембранна рівновага. Загальне термодинамічне рівняння мембранної (доннанівської) рівноваги. Рівняння Доннана.

Основні закони течії рідин в пористих тілах. Закон Стокса. Рівняння Гагена-Пуазейля. Коефіцієнт проникності та пористість тіл. Процес переносу компонентів розчинів в пористих тілах. Дифузія. Закон Фіка. Дифузія в дисперсних системах (нормальна або об'ємна, активована та поверхнева)

Умови термодинамічної стійкості дисперсних систем. Агрегативна стійкість дисперсних систем. Флокуляція. Розклинювальний тиск та його складові. Капілярні явища першого та другого роду. Термодинамічні фактори стійкості дисперсних систем. Ізотермічна перегонка.

## **Тема 2. Основні кінетичні аспекти методів концентрування.**

Кінетичні аспекти методів концентрування. Кінетика виникнення зародків нової фази. Швидкість росту частинок нової фази. Дифузійний та кінетичний режими процесу зростання частинок. Утворення центрів конденсації (зародків) та зростання зародків. Залежність швидкості цих процесів від природи системи, ступеня її пересичення, переохолодження та ін.

Кінетика самодовільної зміни дисперсності системи. Кінетичні фактори стійкості дисперсних систем. Коагуляція. Кінетика коагуляції моно- та полідисперсних систем. Перікінетична коагуляція. Швидка та повільна коагуляція. Теорія швидкої коагуляції Смолуховського. Фактор стійкості або коефіцієнт стабільності дисперсної системи. Фактор уповільнення коагуляції. Ортокінетична коагуляція. Вплив ізотермічної перегонки на зменшення дисперсності системи.

## Змістовий модуль 2 (ЗМ2). Фізико-хімічні методи концентрування та їх застосування

### **Тема 3. Основи фізико-хімічних методів концентрування розчинених речовин.**

Екстракція. Загальні поняття, термінологія. Екстракційні системи. Класифікація екстракційних систем по А. М. Розену, по Л. М. Гіндіну, по Р. М. Даймондому та Д. Г. Такому, доповнена Ю. А. Золотовим. Загальні рівняння екстракції, константи та коефіцієнти. Термодинамічна та концентраційна константи екстракційного розподілу. Коефіцієнти розподілу та витягу (ступінь витягу, відсоток екстракції), їхній взаємозв'язок. Багаторазова екстракція; розрахунок необхідного числа екстракцій. Коефіцієнт збагачення при екстракції, його взаємозв'язок з коефіцієнтами розподілу й витягу. Фактор поділу. Приклад поділу. Рівноваги та коефіцієнт розподілу при катіонообмінної екстракції. Схема реакцій і рівноваг. Константи рівноваг і розподілів. Залежність коефіцієнта розподілу: загальна, від рН, від концентрації екстракційного реагенту, від постійних величин. Екстракція органічної кислоти НА. Схема рівноваги і його константи. Коефіцієнт розподілу кислоти. Його залежність від рН у кислій області та при підвищених рН. Вплив полімеризації кислоти на схему рівноваги та коефіцієнт розподілу кислоти. Вплив природи кислоти на її розподіл. Рівновага в інших екстракційних системах. Екстракція нейтральними екстракційними реагентами. Сольватний (координаційний) і гідратно-сольватний механізм екстракції. Приклади такої екстракції. Екстракція внутрікомплексних сполук (ВКС). Органічні сполуки, що утворюють ВКС; їхні приклади. Типи ВКС. Екстрагування нейтральних, аніонних і катіонних ВКС. Вибірковість і фактор поділу. Фактори, що визначають вибірковість при екстрагуванні. Способи збільшення вибірконості.

Мембранні рівноваги та методи поділу сумішей. *Мембранні рівноваги.* Типи мембран для очищення води та вимоги, пропоновані до них. Способи готу-

вання мембран та діафрагм. Мембранна рівновага для двохкомпонентних систем (мембрана нейтральна напівпроникна). Доннановське поглинання електrolітів і вплив на нього ємності іоніту.

*Мембранні методи поділу.* Течія рідин та газів у пористих тілах. Пористість та коефіцієнт звивистості. Експериментальні та розрахункові методи визначення параметрів пористих тел. Механізм переносу речовини в пористих тілах (грузлий, дифузійний перенос; потік Кнудсена, поверхнева дифузія). Особливості різних механізмів переносу. Закон Дарси. Рівняння Кнудсена. Діаліз із нейтральною мембраною, рівняння потоків. Діаліз із іонообмінною мембраною, облік рівноваги Доннана. Електродіаліз. Мембранні різниці потенціалів. Потенціали Доннана, концентраційний і дифузійний. Зворотний осмос та ультрафільтрація як методи поділу, їхньої особливості; причини поділу. Капілярно-фільтраційна модель і зарядова теорія зворотного осмосу. Фактори, що впливають на ефективність цих методів. Концентраційна поляризація.

Коагуляція. *Коагуляція та стійкість дисперсних систем.* Види та фактори стійкості дисперсних систем. Агрегативна стійкість ліофільних і ліофобних дисперсних систем. Коагуляція ліофобних дисперсних систем, що мають подвійний електричний шар (ПЕШ). Закономірності електролітної коагуляції. Концентраційна та нейтралізаційна коагуляція. Коагуляція ліофобних дисперсних систем з адсорбційно-сольватним фактором стійкості. Особливості дисперсних систем, стабілізованих ПАР та ВМС.

Типи коагулянтів. Гідроліз коагулянтів, вплив рН. Процеси, що протікають у дисперсній системі при введенні коагулянтів. Фактори, що впливають на ефективність коагуляційного очищення. Електрохімічна коагуляція.

Класифікація флокулянтів. Фізико-хімічні основи флокуляції. Фактори, що впливають на процес флокуляції.

**Тема 4. Практичне застосування та порівняльна характеристика фізико-хімічних методів концентрування розчинених речовин.**

Використання коагуляції, мембранних та поверхневих методів розділення для очистки водних розчинів та стічних вод.

## СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

| Назва модуля                                                                                                                   | Лекції | Практичні заняття | Лабораторні заняття | Індивідуальна робота | Самостійна робота |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------------------|---------------------|----------------------|-------------------|
| <b>ЗМ1. Фізико-хімічне обґрунтування методів концентрування.</b>                                                               |        |                   |                     |                      |                   |
| <b>Тема 1.</b> Термодинамічні основи методів концентрування.                                                                   | 6      |                   | 8                   | 3                    | 6                 |
| <b>Тема 2.</b> Основні кінетичні аспекти методів концентрування.                                                               | 6      |                   | 8                   | 3                    | 6                 |
| <b>Разом за змістовим модулем 1</b>                                                                                            | 12     |                   | 16                  | 6                    | 12                |
| <b>ЗМ 2. Фізико-хімічні методи концентрування та їх застосування</b>                                                           |        |                   |                     |                      |                   |
| <b>Тема 3.</b> Основи фізико-хімічних методів концентрування розчинених речовин                                                | 8      |                   | 12                  | 4                    | 7                 |
| <b>Тема 4.</b> Практичне застосування та порівняльна характеристика фізико-хімічних методів концентрування розчинених речовин. | 8      |                   | 12                  | 4                    | 7                 |
| <b>Разом за змістовим модулем 2</b>                                                                                            | 16     |                   | 24                  | 8                    | 14                |
| <b>Всього годин</b>                                                                                                            | 28     |                   | 40                  | 14                   | 26                |

## Лабораторна робота 1

### ТЕРМОДИНАМІКА РОЗПОДІЛУ ПАР МІЖ ВОДНОЮ ТА ОРГАНІЧНОЮ ФАЗАМИ

**Мета роботи:** вивчення термодинаміки розподілу ПАР між водною та органічною фазами, розрахунок термодинамічних параметрів процесу розподілу.

**Об'єкти дослідження:** розчини хлоридів алкіламонію (ХАА), алкілкарбоксилатів важких металів, натрію (АКН) та калію (АКК), алкілсульфатів натрію (АСН), які містять у своєму складі від 10 до 18 атомів вуглецю. Концентрація розчинів ( $8,2 \cdot 10^{-5} \div 3,6 \cdot 10^{-4}$ ) М. Екстрагенти ПАР – алкани нормальної будови: декан, додекан, тетрадекан, гексадекан, октадекан; насичені жирні кислоти: гептилова, октилова, нонілова; керосин; бензол.

В основі розрахунків до цієї роботи полягає математична обробка рівняння (1).

$$K_p = \frac{KKM_i}{KKM_a^2} \quad (1)$$

де  $K_p$  – константа розподілу ПАР між водною та органічною фазами,  $KKM_o$  та  $KKM_e$  – критичні концентрації міцелоутворення ПАР у взаємно насичених органічній та водній фазах.

Важливою позитивною якістю цього рівняння є те, що воно встановлює зв'язок константи розподілу ПАР ( $K_p$ ) з ККМ ПАР у органічній ( $KKM_o$ ) та водній ( $KKM_e$ ) фазах, які належать до числа основних табульованих фізико-хімічних констант, що обумовлюють різноманітні фізико-хімічні властивості ПАР та дозволяють оцінювати: зміну термодинамічних функцій ПАР у точці міцелоутворення, залежність поверхневого натягу розчинів ПАР від їх концентрації, рівноважний розподіл ПАР між об'ємом і поверхнею, вплив домішок на поверхневу активність ПАР.

Використовуючи значення ККМ у водній та органічній фазах, знаходять зміну вільної енергії системи у процесі міцелування у відповідній фазі:

$$\Delta G_{миц} = RT \ln KKM, \quad (2)$$

$$\Delta G_{CH_2} = (\Delta G_{миц})_{n+1} - (\Delta G_{миц})_n, \quad (3)$$

$$\Delta G_{(P+I)} = \Delta G_{миц} - n \Delta G_{CH_2}, \quad (4)$$

де  $\Delta G_{миц}$  – зміна вільної енергії системи внаслідок міцелування;  $\Delta G_{CH_2}$ ,  $\Delta G_{(P+I)}$  – внески у величину  $\Delta G_{миц}$ , відповідно метиленової ( $-CH_2-$ ) та полярної (P) груп, а також протийонів (I);  $n$  – число метиленових груп у вуглеводневому радикалі.

Числове значення величини  $K_P$  є природною характеристикою спорідненості будь-якого конкретного ПАР до органічної (ліпофільної) та водної (гідрофільної) фаз. У зв'язку з цим нею можна користуватися для оцінки гідрофільно-ліпофільного балансу (ГЛБ) або гідрофільно-олеофільного співвідношення (ГОС) окремих ПАР. Величина  $K_P$  пов'язана з вільною енергією розподілу ПАР між органічною та водною фазами:

$$\Delta G_{o-e} = RT \ln K_P, \quad (5)$$

$$\Delta G_{o-e} = \Delta G_{миц}^o - \Delta G_{миц}^e, \quad (6)$$

де  $\Delta G_{o-e}$  – робота переміщення одного моля ПАР з органічної фази в водну;  $\Delta G_{миц}^o$  – вільна енергія міцелування ПАР у органічній, а  $\Delta G_{миц}^e$  – у водній фазах.

Таким чином, з урахуванням рівнянь (4 – 8) отримаємо:

$$\ln K_P = \frac{\Delta G_{(P+I)}^o - \Delta G_{(P+I)}^e}{RT} + \frac{\Delta G_{CH_2}^o - \Delta G_{CH_2}^e}{RT}, \quad (7)$$

або 
$$\ln K_P = A + B \cdot n, \quad (8)$$

де 
$$A = \frac{\Delta G_{(P+I)}^o - \Delta G_{(P+I)}^e}{RT}, \quad (9)$$

$$B = \frac{\Delta G_{CH_2}^o - \Delta G_{CH_2}^6}{RT}. \quad (10)$$

Гідрофільно-олеофільні властивості гомологічного ряду ПАР можуть бути охарактеризовані величиною

$$\rho = -\frac{A}{B} = \frac{\Delta G_{(P+I)}^6 - \Delta G_{(P+I)}^o}{\Delta G_{CH_2}^6 - \Delta G_{CH_2}^o}, \quad (11)$$

яка називається коефіцієнтом гідрофільності. Числове значення коефіцієнту гідрофільності не залежить від довжини вуглеводневого радикалу ПАР, а визначається природою полярної групи ПАР та органічної фази, а також температурою.

Гідрофільно-олеофільне енергетичне співвідношення (*ГОЕС*) або обернену йому величину олеофільно-гідрофільного енергетичного співвідношення (*ОГЕС*) розраховують за рівняннями:

$$ГОЕС = \frac{\Delta G_P + \Delta G_I}{\Delta G_R}, \quad (12)$$

$$ОГЕС = \frac{\Delta G_R}{\Delta G_P + \Delta G_I}, \quad (13)$$

$$ГОЕС = \frac{1}{ОГЕС}, \quad (14)$$

$$\Delta G_R = \Delta G_{CH_2} \cdot n. \quad (15)$$

Фізичний зміст *ГОЕС* полягає у тому, що ця величина представляє собою відношення енергії, яка втрачається у процесі міцелоутворення на дегідратацію гідрофільних груп і протийонів, що входять до складу ПАР, до енергії, яка виділяється внаслідок переведу до складу міцел вуглеводневих радикалів. Ці величини не залежать від природи олеофільної фази; вони можуть бути знайдені експериментально.

[illegible]

## Лабораторна робота 2

### АДСОРБЦІЯ ІОНІВ РЗЕ НА ПОВЕРХНІ ЧАСТОК ТОНКОДИСПЕРГОВАНИХ ЖИРНИХ КИСЛОТ

**Мета роботи:** вивчити адсорбцію іонів лантану на поверхні часток тонкодиспергованих жирних кислот.

**Об'єкти дослідження:** водні розчини нітратів РЗЕ, що містять 30 - 100 мг металу в літрі. Значення рН розчинів 3, 6 і 8. Насичені жирні кислоти нормальної будови з довжиною вуглеводневого ланцюга 10-14.

#### *Порядок виконання роботи*

1. Провести адсорбцію РЗЕ поверхнею крапель кислот.

Методика проведення досвідів по адсорбції РЗЕ поверхнею крапель кислот, включає ультразвукове диспергування кислот у розчинах  $\text{Ln}(\text{NO}_3)_3$  при температурі, що перевищує температури плавлення кислот. Диспергування кислот (1,5 – 2 г) у розчинах  $\text{Ln}(\text{NO}_3)_3$  (100 мл) здійснюють за допомогою ультразвукового диспергатора упродовж 10 хв. Після диспергування емульсії охолоджують до кімнатної температури (18 – 20 °C). При охолодженні дисперсна фаза емульсій переходить у твердий стан, а емульсія перетворюється в тонкодисперсну суспензію.

2. Визначити концентрацію карбоксильних груп на поверхні часток жирних кислот.

Кількість карбоксильних груп на поверхні часток жирних кислот визначають шляхом зворотного кондуктометричного титрування за методом Марона. Титрування здійснюють шляхом вимірювання електричної провідності. Суспензії жирних кислот після додатка кожної порції титранта ретельно перемішують на магнітній мішалці до встановлення рівноваги, що характеризується постійним значенням електричної провідності або електричного опору (R). Кількість NaOH, витраченого на реакцію утворення на поверхні

часток суспензії алкілкарбоксилатів натрію ( $\text{RCOONa}$ ) визначають по зламю на кривих, що відображують залежність величини  $\frac{1}{R}$  від об'єму доданого титранта.

Перед титруванням у суспензії (рН 6) додають надлишок 0,01 М розчину  $\text{HCl}$  до явно кислої реакції (рН 4), при якій рівновага реакції



зміщується праворуч.

По кількості  $\text{NaOH}$ , що витрачено на нейтралізацію жирної кислоти визначають зміст ( $x$ ) жирної кислоти в розчині й на поверхні часток:

$$x = \frac{Mr \cdot M \cdot V}{1000}, \quad (16)$$

де  $Mr$  – молекулярна маса кислоти,  $M$  – полярність розчину  $\text{NaOH}$ ,  $V$  – об'єм розчину  $\text{NaOH}$ , що витрачений на нейтралізацію жирної кислоти,  $\text{см}^3$ .

За різницею знайденої величини  $x$  і величини розчинності жирної кислоти у воді розраховують зміст кислоти в поверхневому шарі.

Адсорбційну ємність часток жирної кислоти обчислюють за формулою:

$$P_i = \frac{S_i}{S_a}, \quad (17)$$

де  $S_i$  – зміст карбоксильних груп на поверхні часток жирної кислоти в даній суспензії, моль;  $S_a$  – зміст карбоксильних груп на поверхні часток жирної кислоти, необхідне для повного насичення поверхневого шару, моль.

Величину  $S_a$  розраховують за рівнянням:

$$S_a = \frac{S_{y\partial}}{\omega \cdot N_A \cdot m}, \quad (18)$$

де  $S_{y\partial}$  – питома поверхня розділу фаз рідина-тверде тіло,  $\text{м}^2/\text{г}$

$$S_{y\partial} = \frac{S}{V \cdot \rho} = \frac{3}{r \cdot \rho}, \quad (19)$$

$r$  – найімовірніший радіус часток кислоти;  $\omega$  – площа, яку займає карбоксильна група у поверхневому шарі,  $\text{м}^2$ ;  $N_A$  – число Авогадро;  $m$  – маса жирної кислоти в суспензії.

Враховуючи, що із трьома карбоксильними групами взаємодіє один іон лантану, розраховують концентрацію лантану в поверхневому шарі.

Для перевірки достовірності виконаних розрахунків, кількість іонів лантану, адсорбованого на поверхні часток кислоти, визначають також шляхом кондуктометричного титрування суспензій кислоти в розчині  $\text{Ln}(\text{NO}_3)_3$  розчином нітрату торію.

По зламів на кривій  $\frac{1}{R} = f(V_{\text{Th}(\text{NO}_3)_4})$  кондуктометричного титрування суспензії кислоти у розчині  $\text{La}(\text{NO}_3)_3$  розчином  $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$  визначають зміст алкілкарбоксилату лантану в поверхневому шарі.

### Лабораторна робота 3

## ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ДОВЖИНИ ВУГЛЕВОДНЕВОГО ЛАНЦЮГА ПАР, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ З МЕТОЮ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ ФЛОТАЦІЙНОГО ВИЛУЧЕННЯ МУЛЬГОВАНИХ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН

**Мета роботи:** з'ясувати можливість використання аніонних ПАР для інтенсифікації флотаційного вилучення трибутилфосфату (ТБФ) з високодисперсних емульсій.

**Об'єкти дослідження:** емульсії ТБФ (0,03 – 0,04 %), що отримані шляхом ультразвукового диспергування. Як збирачі використовують 0,07 % водні розчини алкілкарбоксилатів калію і 0,5 % водні розчини хлоридів алкіламонію, які містять у своєму складі від 10 до 18 атомів вуглецю.

Додавання у воду, що забруднена емульгованими органічними речовинами, невеликих кількостей ПАР інтенсифікує процес її флотаційного очищення. Досвід показує, що позитивний вплив добавок ПАР на процес флотаційного вилучення емульгованих органічних речовин залежить від довжини

вуглеводневого радикалу ПАР. Ця залежність проходить через максимум при збільшенні довжини вуглеводневого ланцюга ПАР. Витрата збирача, що необхідна для досягнення максимального позитивного ефекту, зменшується зі збільшенням його молекулярної маси.

Питання про оптимальну довжину вуглеводневого ланцюга ПАР, що впливає на процес флотаційного вилучення емульгованих органічних речовин, може бути вирішений з урахуванням впливу довжини вуглеводневого ланцюга ПАР на: 1) величину АМЕС ПАР; 2) електрокінетичний потенціал крапель емульгованих органічних речовин і бульбашок повітря.

Катіонні ПАР повинні мати досить довгий вуглеводневий радикал, щоб мати високу поверхневу активність, добре адсорбуватися емульгованими органічними речовинами й знижувати їх негативний електрокінетичний потенціал, що перешкоджає коагуляції (коалесценції) емульгованих речовин на поверхні бульбашок повітря. У той самий час АМЕС ПАР, що адсорбуються на межі поділу фаз розчин–повітря, не повинно досягати одиниці. Коли АМЕС дорівнює або менш одиниці, адсорбція катіонних ПАР на межі поділу фаз розчин-повітря, супроводжується перезарядженням негативно заряджених бульбашок повітря. Крім того, якщо АМЕС ПАР менш одиниці, істотну роль відіграє ламінарна коагуляція ПАР на поверхні бульбашок повітря, що приводить до утворення на ній механічно міцних гідролізованих гелеподібних плівок ПАР, що ускладнюють перехід емульгованих органічних речовин на поверхню бульбашок повітря. Таким чином, максимальну здатність до інтенсифікації процесу флотаційного вилучення емульгованих органічних речовин мають ПАВ, АМЕС яких максимально близько до одиниці, тобто АМЕС є критерієм збірної здатності ПАР.

Оцінку гетерополярності структури ПАР здійснюють за допомогою уявлень щодо гідрофільно-ліпофільного балансу (ГЛБ), гідрофільно-олеофільного співвідношення (ГОС) і адсорбційно-міцелярного енергетичного співвідношення (АМЕС) ПАР.

$$AMЭC = \frac{\Delta G_{адс}^0}{\Delta G_{миц}^0}, \quad (20)$$

$$\Delta G_{адс}^0 = -RT \ln \left( \frac{\Gamma}{\delta C} \right), \quad (21)$$

$$\Delta G_{миц}^0 = 2RT \ln KKM, \quad (22)$$

де  $\Delta G_{адс}^0$  – вільна енергія адсорбції ПАР;  $\Delta G_{миц}^0$  – вільна енергія міцелоутворення ПАР;  $\Gamma$  – рівноважна адсорбція;  $C$  – концентрація ПАР;  $\delta$  – товщина поверхневого шару ПАР ( $9 \cdot 10^{-10}$  м);  $KKM$  – критична концентрація міцелоутворення (моль/л).

### ***Порядок виконання роботи***

1. Провести флотаційну обробку емульсій, емульсій які містять збирачі.

Розчини збирачів додають до емульсій при ретельному перемішуванні за допомогою магнітної мішалки за  $1 \div 2$  хв до початку флотації в кількості від 2 до 20 мг/дм<sup>3</sup>.

Флотаційну обробку емульсій ТБФ здійснюють протягом 15 хв на установці для флотації шляхом пропущення через розчин диспергованого пористим матеріалом повітря. Швидкість продування становить 90 см<sup>3</sup>/хв. Після флотаційної обробки емульсії аналізують на вміст дисперсної фази.

Ступінь флотаційного вилучення дисперсної фази емульсій розраховують за рівнянням

$$\alpha = \frac{C_p^0 - C_p}{C_p^0} \cdot 100\%, \quad (23)$$

де  $C_p^0$  та  $C_p$  – концентрація ТБФ у розчині, відповідно до та після флотації.

2. Вимірити поверхневий натяг розчинів ПАР при різних концентраціях (необхідно приготувати не менш 6 розчинів) для 2-4 членів гомологічного ряду ПАР. На підставі отриманих даних побудувати ізотерми поверхневого натягу ( $\sigma = f(C)$  та  $\sigma = f(\ln C)$ ), знайти поверхневу активність

$$g = - \left( \frac{d\sigma}{dC} \right)_{C \rightarrow 0}. \quad (24)$$

Обчислюють значення адсорбції ( $\Gamma$ ) за рівнянням Гиббса

$$\Gamma = - \frac{C}{RT} \frac{d\sigma}{dC}, \quad (25)$$

будують ізотерми адсорбції ( $\Gamma = f(C)$ ).

3. Розрахувати величину АМЕС ПАР за рівнянням (20).

Величину вільної енергії адсорбції ПАР на межі розділу фаз рідина-повітря  $\Delta G_{ads}^0$  розраховують за рівнянням (21), величину вільної енергії міцелутворення ПАР  $\Delta G_{mic}^0$  – за рівнянням (22). На підставі отриманих експериментальних і розрахункових даних будують графіки залежності  $\alpha = f(q)$ , де  $q$  – витрата збирача (мг/дм<sup>3</sup>);  $AMES = f(n_c)$ , де  $n_c$  – число атомів вуглецю в молекулі збирача.

Аналізують отримані графічні залежності і характер зв'язку між ступенем флотаційного вилучення дисперсної фази емульсій і АМЕС ПАР, що були використані як збирачі. Роблять висновок щодо вибору найбільш ефективного збирача.

## Лабораторна робота 4

### ВПЛИВ рН РОЗЧИНУ НА ФЛОТАЦІЙНЕ ВИЛУЧЕННЯ ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

**Мета роботи:** вивчити вплив рН середовища на ступінь флотаційного вилучення іонів важких металів; визначити оптимальну довжину вуглеводневого радикалу збирача кольорових металів.

**Об'єкти дослідження:** 0,005 % водні розчини солянокислих або азотнокислих кольорових металів. Збирачами іонів важких металів є калієві мила насичених жирних кислот. Збирачі вводять у розчини хлоридів кольорових металів в кількості, що необхідна для утворення середніх мил кольорових металів.

Аналіз експериментальних даних, що отримані у ході вивчення впливу значення рН середовища на процес флотаційного вилучення іонів і колоїдних часток, показує, що зміна кислотності середовища звичайно призводить до зміни оптимальної довжини вуглеводневого радикалу збирачів. При переході від менш кислих розчинів до більш кислих оптимальна довжина вуглеводневого радикалу аніонних збирачів, що є солями слабких кислот і сильних основ, зменшується, а катіонних, що є солями слабких органічних основ і сильних неорганічних кислот, збільшується.

Пояснення механізму впливу рН середовища на оптимальну довжину вуглеводневого радикалу флотаційних збирачів іонів і колоїдних часток, що є солями слабких органічних кислот і основ, базується на уявленнях щодо АМЕС ПАР. Зі зміною значення рН середовища змінюється й довжина вуглеводневого радикалу збирача, що відповідає АМЕС, рівному одиниці, коли ефективність дії збирача мінімальна через його високу флотаційну активність, отже й конкуруючої здатності стосовно часток сублату.

Основною причиною зміни АМЕС збирача є зміна  $\Delta G_{\text{міц}}^0$ , тому що  $\Delta G_{\text{адс}}^0$  зі зміною значення рН середовища міняється незначно. Підлучування водних розчинів мил лужних металів, що представляють собою одно-одновалентні солі слабких органічних кислот і сильних неорганічних основ, збільшує їх АМЕС та довжину вуглеводневого радикалу збирача, що забезпечує найбільш ефективне флотаційне вилучення зібраних ними іонів і колоїдних часток.

### ***Порядок виконання роботи***

1. Провести флотаційну обробку розчинів кольорових металів.

Флотаційну обробку розчинів здійснюють протягом 10 хв на установці для флотації шляхом пропущення через розчин диспергованого пористим матеріалом повітря. Швидкість продування становить  $90 \text{ см}^3/\text{хв}$ . Розчини після флотації аналізують на зміст у них компонента, що вилучається.

Необхідні значення рН розчинів установлюють після додавання до них необхідної кількості збирача. Для цього використовують 0,1 М розчини КОН і НСІ. Про ефективність процесу флотації судять за ступенем вилучення компонента з розчину за рівнянням (23).

2. На підставі отриманих експериментальних даних будують графіки залежності  $\alpha = f(pH)$  та аналізують їх.

Методики готування розчинів збирачів і аналізу досліджуваних розчинів на вміст у них компонентів, що вилучаються, наведені у додатку.

## **Лабораторна робота 5**

### **ВИЛУЧЕННЯ ЖИРНИХ КИСЛОТ МЕТОДОМ АДСОРБЦІЇ**

**Мета роботи:** з'ясувати можливість використання адсорбції для вилучення жирних (гептанової, октанової та нонанової) кислот.

**Об'єкти дослідження:** насичені розчини гексанової, гептанової, октанової та нонанової кислот, що містять відповідно 0,87, 0,80, 0,68 і 0,26 г кислоти в літрі, що відповідає їхній розчинності у воді. Як адсорбент – тонкодиспергований парафін, що отримують шляхом його ультразвукового диспергування протягом 10 хв.

### ***Порядок виконання роботи***

1. Провести адсорбцію жирних кислот.

У скляну колбу ємністю 200 мл, що містить 100 мл 1% суспензії пара-

фіну, додають певну кількість жирної кислоти, закривають притертою скляною пробкою та струшують на апараті АБУ-6С 60 хв. (цього часу достатньо для досягнення адсорбційної рівноваги). Потім вміст колби центрифугують протягом 20 хвилин на лабораторній центрифугі типу ЦЛС-3 зі швидкістю 5000 об/хв. Розчин після центрифугування відділяють від осаду й збирають в окрему колбу.

При струшуванні розчину жирної кислоти з парафіном відбувається адсорбція на його поверхні молекул кислоти. Величину адсорбції розраховують як різницю концентрацій вихідного розчину та розчину після центрифугування:

$$A = \frac{(C_0 - C) \cdot V}{m}, \quad (30)$$

де  $C_0$  і  $C$  – концентрація кислоти в розчині відповідно до й після адсорбції;  $m$  – наважка адсорбенту;  $V$  – об'єм, з якого відбувалася адсорбція.

Розчини після адсорбції аналізують на вміст жирних кислот за стандартною методикою (екстракційно-фотометрично) (см. Додаток).

2. На підставі отриманих експериментальних даних будують графіки залежності  $A = f(C)$  та аналізують їх.

3. Визначають ступень вилучення жирних кислот за рівнянням

$$\alpha = \frac{C_p^0 - C_p}{C_p^0} \cdot 100\%, \quad (31)$$

де  $C_p^0$  та  $C_p$  – концентрація кислот у розчині, відповідно до та після адсорбції.

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Сформулюйте основні поняття та визначення процесу екстракції.
2. Як залежить процес екстракції від природи екстрагента і речовини, що екстрагується?
3. Яким основним законам підкоряється процес екстракції?
4. Яким вимогам повинен відповідати екстрагент?
5. Який механізм екстракції ПАР? Від яких факторів він залежить?
6. Що таке екстракційна здатність екстрагента і чим вона обумовлена?
7. Який параметр кількісно характеризує можливість розділення двох і більше компонентів?
8. Дайте визначення поняттю ступінь вилучення. Яким чином ступінь вилучення пов'язана з коефіцієнтом розподілу?
9. Як впливає температура на процес екстракції?
10. Надайте основні практичні аспекти вибору розчинника для екстракції?
11. Які фактори впливають на швидкість процесу екстракції?
12. Як розрахувати коефіцієнт розподілу ПАР між водною та органічною фазами?
13. Яким чином впливають природа органічної фази, природа ПАР, довжина її вуглеводневого радикалу, домішки, що містяться у водній фазі та час контакту фаз на величину коефіцієнту розподілу?
14. Які параметри необхідно розрахувати, щоб провести термодинамічний аналіз процесу розподілу ПАР між водною та органічною фазами.
15. Які параметри необхідно розрахувати, щоб провести кінетичний аналіз процесу розподілу ПАР між водною та органічною фазами.
16. Які ПАР можна використати в якості екстрагентів рідкоземельних металів.

## ТЕМИ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Екстракція внутрікомплексних сполук (ВКС).
2. Розрахунок абсолютної адсорбції за величиною гиббсовської адсорбції, ізотерми парціальної адсорбції. Класифікація ізотерм гиббсовської адсорбції у взаємозв'язку з ізотермами парціальної адсорбції; фактори, що впливають на форму ізотерм.
3. Очищення стічних вод адсорбцією на активних вугіллях.
4. Капілярно-фільтраційна модель і зарядова теорія зворотного осмосу. Фактори, що впливають на ефективність цих методів.
5. Флотоекстракційне вилучення іонів металів (концентрування іонів важких металів і рідкісноземельних металів).
6. Використання коагуляції для очистки водних розчинів та стічних вод.
7. Використання мембранних методів розділення для очистки водних розчинів та стічних вод.
8. Використання поверхневих методів розділення для очистки водних розчинів та стічних вод.

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Очистка производственных и сточных вод: [учеб. для вузов] / С.В. Яковлев, А.Я.Карелин, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронков; под ред. С.В. Яковлева. – [2-е изд.]. – М. : Стройиздат, 1985. – 305 с.
2. Основы жидкостной экстракции / Г. А. Ягодин, С.З. Качан, В.В. Тарасов [и др.] / под ред. Г.А. Ягодина. – М. : Химия, 1981. – 400 с.
3. Адсорбция из растворов на поверхности твердых тел. / [Ч. Джайлс, Б. Инграм, Дж. Клюни и др.] ; под ред. Г. Парфита, К. Рочестера ; пер. с англ. Б.Н. Тарасевича. – М. : Мир, 1986. – 544 с.
4. Скрылев Л.Д. Коллоидно-химические основы защиты окружающей среды от ионов тяжелых металлов. Ионная флотация / Л.Д. Скрылев, В.Ф. Сазонова. – К. : УМК ВО, 1992. – 215 с.
5. Стрельцова О.О. Фізико-хімічні основи процесу флотаційного виділення іоногенних поверхнево-активних речовин із водних розчинів та стічних вод / Стрельцова О.О. – Одес. держ. ун-т. – Одеса : Астропринт, 1997. – 140 с.
6. Себба Ф. Ионная флотация; [пер. с англ. В. П. Неберы, А. М. Гольмана]. – М. : Металлургия, 1965. – 170 с.
7. Кузькин С. Ф., Гольман А.М. Флотация ионов и молекул. – М. : Недра, 1971. – 136 с.
8. Родионов А. И. Техника защиты окружающей среды / Родионов А. И., Клушин В. Н., Торочешников Н. С. ; [учебник для вузов; 2-е изд. перераб. и доп.]. – М. : Химия, 1989. – 512 с.
9. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод: [підруч.] / [Запольський А.К., Мішкова-Клименко Н.А., Астерлін І.М. та ін.]. – К. : Лібра, 2000. – 552 с.

## Інформаційні ресурси

1. <http://www.twirpx.com/>
2. <http://chemistry-hemists.com/forum/viewtopic.php?f=15&t=35&start=2240>
3. <ftp://chemistry-chemists.org/book5/>

## ДОДАТОК

### ГОТУВАННЯ РОЗЧИНІВ ЗБИРАЧІВ

Розчини калієвих мил насичених жирних кислот готують шляхом нейтралізації (при нагріванні до 60 °С) відповідної жирної кислоти водним розчином гідроксиду калію та наступного підлужування (з метою запобігання гідролізу) до рН 11,6. Концентрація збирача в розчині повинна бути нижче ККМ.

У таблиці представлені значення ККМ (моль/л) калієвих мил насичених жирних кислот та наважки (q) відповідних жирних кислот, що необхідні для готування розчинів збирачів.

| <b>Жирна кислота</b> | <b>ККМ, моль/л</b> | <b>q, г/100 г води</b> |
|----------------------|--------------------|------------------------|
| Капринат калію       | 0,1000             | 2,000                  |
| Ундеканат калію      | 0,0500             | 1,000                  |
| Лаурат калію         | 0,0240             | 0,400                  |
| Тридеканат калію     | 0,0126             | 0,286                  |
| Миристат калію       | 0,0063             | 0,103                  |
| Пентадеканат калію   | 0,0018             | 0,070                  |
| Пальмитат калію      | 0,0005             | 0,034                  |

Хлориди первинних аліфатичних амінів використовують у вигляді 0,5 % водних розчинів із рН <9.

### ОБ'ЄМНЕ ВИЗНАЧЕННЯ РЗЕ

Нейтралізують розчин солі РЗЕ (ІІІ), розбавляють до 25 мл водою, додають 1-2 мл 40 % розчину уротропіну (рН 6,0 - 6,5) і 0,2 мл 0,1 % розчину арсеназо І. Титрують 0,01 М розчином трилона Б до переходу синьо-

фіолетового фарбування в рожеве. Лантан і інші РЗЕ (до Nd) титрують при рН 7, інші при рН 5-6 (розчин підкисляють 0,5 М НСІ ).

$$Q_{PZE} = \frac{V_{tr} \cdot M_{tr} \cdot \mathcal{E}_{PZE} \cdot 1000}{V_{pipetki}}, \text{ мг/л,}$$

де  $V_{tr}$  – об'єм трилона Б, що витрачений на титрування;  $M_{tr}$  – молекулярна маса трилона Б;  $\mathcal{E}_{PZE} = A_{PZE}$  – еквівалент РЗЕ;  $V_{pipetki}$  – об'єм піпетки (аліквота).

### *МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ АЛІФАТИЧНИХ КИСЛОТ*

Для визначення одноосновних аліфатичних кислот використовують той факт, що їхні мідні солі мало розчинні у воді, а добре в хлороформі.

Реактивом служить розчин 8,5 г хлориду міді (ІІ) в 100 мл 3 % соляної кислоти. Нейтралізують розчин досліджуваної кислоти. Змішують 3 мл нейтрального досліджуваного розчину з 0,4 мл реактиву. Мідну сіль кислоти, що утвориться, витягають збовтуванням з 5 мл хлороформу.

Оптичну щільність ( $A$ ) синіх екстрактів вимірювають за допомогою концентраційного фотоелектричного колориметра КФК-2-УХЛ 4,2 з жовтим світлофільтром ( $\lambda = 590$  нм) у кюветах з товщиною поглинаючого шару  $l = 10 \div 40$  мм. Кювети вибирають таким чином, щоб зберігалася прямолінійна залежність  $A=f(C)$ , тобто дотримувався закон Бугера-Ламберта-Бера. Значення оптичної щільності лежали в межах  $0,3 \div 0,7$ .

### *МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ТБФ*

Суть методики складається в окисному розкладанні ТБФ персульфатом калію при температурі  $100^{\circ}\text{C}$  у кислому середовищі та перетворенні фосфатів-іонів, що утворюються при розкладанні, у фосформолібденові гетеропо-

лікислоти, що дають при додаванні відновлювача, який отриманий шляхом змішання водних розчинів метолу та метабісульфиту калію, інтенсивне синє фарбування.

Оптичну щільність отриманих розчинів вимірюють за допомогою фотометра лабораторного ЛМФ-72М з червоним світлофільтром ( $\lambda=720$  нм) у кюветі з товщиною поглинаючого шару 5 мм.

Для проведення аналізу в пробірку 20 мл досліджуваного розчину ТБФ додають 2 г персульфати калію й 1 мл  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (1:2). Пробірки ставлять у склянку з водою й нагрівають на закритій електроплитці 1,5 год при  $100^\circ\text{C}$  (не вище) для розкладання ТБФ. Окислену пробу переносять у мірну колбу ємністю 100 мл, доводять об'єм дистильованою водою до 50 мл і підігрівують на водяній лазні до  $40-60^\circ\text{C}$ , послідовно вводячи 0,5 мл розчину лимонної кислоти (100 г/л), 2 мл відновлювача та 2 мл розчину молібдату амонію (50 г/л). Потім об'єм випробуваного розчину доводять дистильованою водою до 100 мл і через 10 хв аналізують. У розчині порівняння використовують дистильовану воду. Відновлювач готують розчиненням 20 г метолу в 100-150 мл і 100 г метабісульфиту калію в 300 мл дистильованої води, розчини змішують, доводять водою до 1000 мл і фільтрують. Вміст ТБФ розраховують по різниці між загальною та фоновною кількістю фосфат-іонів. Точність визначення концентрації ТБФ становить  $\pm 4\%$ .

### *МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ КАТІОННИХ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН*

Метод заснований на взаємодії катіонних поверхнево-активних речовин (КПАВ) з метиловим оранжевим з утворенням розчинного в хлороформі комплексу жовтого кольору. Інтенсивність фарбування розчину хлороформу пропорційна концентрації комплексу метиловий оранжевий - КПАВ і вимірюється колориметрично. Метод придатний для визначення КПАВ у водних розчинах, а також у воді водойм при концентрації КПАВ менш 1 мг/мл.

Визначену кількість досліджуваного розчину поміщають у ділильну воронку й розбавляють дистильованою водою до 50 мл. Додають 1 мл 0,1% розчину метилового оранжевого, 5 мл буферного розчину й 25 мл хлороформу. Закривають ділильну воронку пробкою й струшують її протягом 30 с. Дають пробі відстоятися протягом 20 хв. Хлороформний шар відділяють від водного. Визначають його оптичну щільність при  $\lambda=415$  нм по відношенню до чистого хлороформу.

Буферний розчин готують шляхом змішування 250 мл 0,5 М розчину лимонної кислоти та 250 мл 0,2 М розчину динатрійгідрофосфату.

### *МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ МИЛ НАСЫЧЕНИХ ЖИРНИХ КИСЛОТ*

Вміст мил насичених жирних кислот у досліджуваному розчині визначають методом титрування. У ділильну воронку наливають 5 мл досліджуваного розчину, додають хлорид натрію до насичення. Потім доливають 10 мл спиртоетерової суміші (1:1) і відстоюють протягом 1-2 хв. Верхній шар відокремлюють від нижнього та титрують розчином 0,01 М сірчаної кислоти в присутності 2-3 крапель лакмоїда до появи жовтого фарбування.

Навчальне видання

*Кожемяк Марина Анатоліївна ,  
Тимчук Алла Федорівна*

**ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ МЕТОДІВ КОНЦЕНТРУВАННЯ  
РОЗЧИНЕНИХ РЕЧОВИН**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ  
СПЕЦКУРСУ ДЛЯ СТУДЕНТІВ ХІМІЧНОГО ФАКУЛЬТЕТУ**

*Видано в авторській редакції*

---

Підп. до друку 25.09.2013 р.

Умов.-друк. арк. 1,2. Тираж 15

ВИДАВНИЦТВО

Друкарня «Різограф»

м. Одеса, вул. Садова, 16, тел. 726-88-25