

**КИЧКИРУК О.Ю.
КУСЯК Н.В.
ВІЛЕНСЬКИЙ В.О.**

**СОРБЦІЙНІ МЕТОДИ
В ХІМІЧНОМУ АНАЛІЗІ**

Житомирський державний університет імені Івана Франка
Факультет природничий
Кафедра хімії

ІНСТРУКТИВНО-МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ ДО ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

Обов'язкової освітньої компоненти

Сорбційні методи в хімічному аналізі

Галузь знань	10 природничі науки
Спеціальність	102 Хімія
Предметна спеціальність	-
Спеціалізація	-
Освітня програма	Хімія з основами викладання
Факультет	природничий

Автори:

к.х.н., доцент Кичкирук Ольга

к.х.н., доцент Кусяк Наталія

д.х.н., ст.наук.співр. Володимир Віленський

Розглянуто та схвалено

на засіданні кафедри хімії

Протокол від «_____» червня 2024 р. № ____

Завідувач кафедри _____ Олена АНІЧКІНА

Житомир 2024

УДК 544.7
ББК 24

*Рекомендовано до друку вченою радою Житомирського державного університету
імені Івана Франка
(протокол № 11 від 25.06.2024 р.)*

Рецензенти:

Миронюк Лілія – кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник відділу фізики і технології фотоелектронних та магнітоактивних матеріалів Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

Кобріна Лариса - кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник відділу модифікації полімерів Інституту хімії високомолекулярних сполук НАН України

Олександр Камінський - кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка

Кичкирук О.Ю., Кусяк Н.В., Віленський В.О.

Інструктивно-методичні матеріали до лабораторних занять обов'язкової освітньої компоненти «Сорбційні методи в хімічному аналізі» / Кичкирук О.Ю., Кусяк Н.В., Віленський В.О. – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2024. – 42с.

Видання друге (перероблене і доповнене)

Інструктивно-методичні матеріали розроблені згідно робочої програми освітньої компоненти «Сорбційні методи в хімічному аналізі». У виданні містяться короткі теоретичні відомості, контрольні питання й задачі, рекомендації до виконання лабораторних занять та рекомендована навчальна література.

© Кичкирук О.Ю. 2024
© Кусяк Н.В. 2024
© Віленський В.О. 2024
© Житомирський державний
університет імені Івана Франка, 2024

ЗМІСТ

1	Вступ.....	5
2	Лабораторне заняття № 1 Тема. Вивчення сорбційних властивостей мінеральних адсорбентів (4 год)	6
3	Лабораторне заняття № 2 Тема. Тонкошарова хроматографія (4 год).....	9
3	Лабораторне заняття № 3-4 Тема. Побудова ізотерм адсорбції сполук на поверхні кремнезему (8 год).....	13
4	Лабораторне заняття № 5 Тема. Іонообмінні смоли та їх використання для знесолення води (4 год)	18
	Лабораторне заняття № 6 Тема. Іонообмінні смоли та їх використання в наукових дослідженнях (4 год)	20
	Лабораторне заняття № 7 Модульна контрольна робота № 1. Загальна характеристика, класифікація деяких важливих сорбційних матеріалів (2 год)	22
5	Лабораторне заняття № 8 Тема. Фізико-хімічні методи дослідження поверхні сорбційних матеріалів (4 год).....	25
	Лабораторне заняття № 9 Тема. Модифікування поверхні силікагелю органічними реагентами (4 год).....	29
6	Лабораторне заняття № 10 Тема. Розділення суміші Ag^+ , Cu^{2+} , Hg^{2+} - йонів методом осадової хроматографії (4 год).....	30
7	Лабораторне заняття № 11 Тема. Адсорбція оцтової кислоти на активованому вугіллі (6 год).....	33
8	Лабораторне заняття № 12 Модульна контрольна робота № 2. Способи одержання сорбційних матеріалів та застосування сорбційних методів в хімічному аналізі	37
9	Рекомендована література.....	40

ВСТУП

Метою й завданнями дисципліни «Сорбційні методи в хімічному аналізі» є вивчення основних механізмів та умов сорбційних процесів, особливостей будови та властивості деяких сорбентів; вивчення питань механізму і умов сорбційних процесів; вивчення класичних сорбційних процесів за участю сорбційних матеріалів різного походження; вивчення особливостей хімічних процесів на поверхні кремнеземних сорбентів.

Метою цього видання є ознайомлення здобувачів з окремими положеннями теорії і практики сорбційних методів аналізу, зокрема хроматографічного аналізу, іонного обміну, які безпосередньо використовуються для розробки методик розділення, ідентифікації та кількісного визначення близьких за властивостями речовин, формування уявлення про класичні та найбільш уживані фізико-хімічні сучасні методи. Більшість методів хімічного аналізу не завжди дають можливість провести якісний та кількісний аналіз складних сумішей. Тому в аналізі складних сумішей виключне значення мають методи розділення або виділення окремих компонентів за участю сорбційних матеріалів.

Інструктивно-методичні матеріали розроблені згідно робочої програми обов'язкової освітньої компоненти «Сорбційні методи в хімічному аналізі», яка включає 24 год лекцій, 46 год лабораторних занять та 80 год самостійної роботи. Дана розробка містить інструкції до 12 лабораторних занять, питання для самостійного опрацювання, контрольні питання до кожного лабораторного заняття, завдання до двох модульних робіт та рекомендовану навчальну та наукову літературу.

Кожне лабораторне заняття і модульні роботи містять критерії оцінювання знань за різними видами робіт. Зміст Інструктивно-методичних матеріалів може бути важливим доповненням лекційного курсу та має на меті сприяти кращому засвоєнню здобувачами теоретичних та практичних основ дисципліни.

Лабораторне заняття № 1 (4 год)

Вивчення сорбційних властивостей мінеральних адсорбентів

Мета заняття. Дослідити поглинальну здатність деяких сорбентів щодо органічних і неорганічних молекул і йонів.

План заняття

1. Теоретичні аспекти сорбційних процесів
2. Метод презентацій та доповідей
3. Експериментальна частина. Виконання дослідів

Питання для самостійного опрацювання. Підготувати повідомлення

1. *Поняття про адсорбцію та адсорбенти*
2. *Кінетика та динаміка адсорбції*
3. *Поняття про пористість та пористі матеріали*
4. *Питома поверхня та методи її визначення*
5. *Сорбційна ємність та методи її визначення*
6. *Класифікація кремнеземів за розмірами пор*
7. *Функціональні групи на поверхні кремнеземів*
8. *Методи визначення розмірів пор поруватих матеріалів*
9. *Нанопористі матеріали: переваги та недоліки*
10. *Переглянути відеодослід «Сорбційні властивості медичного препарату «Біле вугілля» і «Активоване вугілля» за посиланням*

<https://www.youtube.com/watch?v=cAyS8wabNas>

Критерії оцінювання

№ заняття:	Кількість балів за кожен вид роботи	Вид роботи:										Сумарна кількість балів
		ТП	ДП	ПП	ПЗ	ОЗ	ТЗ	ІНДЗ	УО	...	...
1		10	20	20	20	15			15			100

ТП – відповідь на теоретичні питання; ДП – демонстрація підготовленої презентації; ПП – презентація/ повідомлення; ПЗ – виконання практичного завдання; ОЗ – оформлення заняття; ТЗ – виконання тестових завдань; ІНДЗ – перевірка індивідуальних завдань; УО – участь в обговоренні

Рекомендована література

1. Іваненко І. М. Теоретичні основи, технологія і обладнання адсорбційних процесів. Розділ 1. Промислові адсорбенти, їх властивості і застосування. - Київ КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2017. – 37 с.
https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/29416/1/MV_PZ_TO%2CCTOAP.pdf
2. Федорченко С. В. Хроматографічні методи аналізу. - Івано-Франківськ : Прикарп. нац. ун-т ім. В. Стефаника. - 2012. – 146 с.
3. Зайцев В.Н. Комплексообразующие кремнеземы. Синтез, строение привитого слоя и химия поверхности – Х.: Фолио. – 1997. – 233 с.
4. Тертых В. А., Беякова Л. А. Химические реакции с участием поверхности кремнезема АН УССР, Ин-т химии поверхности. – К.: Наук. Думка. - 1991. – 260 с.
5. Яцимирський В.К., Павленко В.О., Савченко І.О. та ін. Хімія. Підручник. – К.: Ірпінь: Перун. - 2010 - 432 с.

6. Костенко Л.С., Зайцев В.М. Кремнеземи, функціоналізовані похідними амінофосфонові кислоти // Український хімічний журнал. — 2009. — Т. 75, № 10. — С. 83-90.
7. Яновська Е. С., Кузовенко В. А., Кичкирук О. Ю., Тьортих В. А. Сорбційні властивості силікагелю з ковалентно закріпленим 1-(2-піридилазо)-2-нафтолом щодо іонів токсичних металів http://eprints.zu.edu.ua/16862/1/09_yanovska_es.PDF
8. Верба В. В., Запорожець О. Л., Сухан В. В., Кравченко С. М., Грушко І. А. Твердофазний аналітичний реагент для визначення Бісмуту(III) та молібдену(VI) у вигляді тіоціанатних комплексів http://ekmair.ukma.edu.ua/bitstream/handle/123456789/8571/verba_vv.pdf
9. Рева Т., Зайцев В., Трохименко О., Сорбційна здатність кремнеземів з прищепленими комплексоутворюючими групами до іонів Zn(II), Hg(II), Fe(III), Cu(II), Cd(II) та Pb(II) http://visnyk.chem.univ.kiev.ua/arhiv/2010/48/vknyx_2010_48_9.pdf
10. <https://studfile.net/preview/2276603/#6> <https://studfile.net/preview/2276603/#6>
11. <http://science.lpnu.ua/uk/keywords-paper/sorbciya-0>
12. Галиш В.В. Сорбційне вилучення іонів цезію з водних розчинів <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/16141/1/1.pdf>

Експериментальна частина

Реактиви: водні розчини фарб (фуксин, чорнило та інші); плюмбум нітрат, 0,1 н розчин; калій йодид, 0,1 н розчин; активоване вугілля; спиртовий розчин йоду, розчини барвників (брильянтовий зелений, синька, метиловий оранжевий, лакмус), дистильована вода, біле вугілля, активоване вугілля, 2н розчин купрум(II) сульфату, 10% розчин аміаку, силікагель, 1М розчин хлоридної кислоти, 2н розчин кобальт сульфату, алюміній оксид.

Обладнання: 2 плоскодонні колби (ємність 500 мл); крапельниці; 3 мірних стакани ємністю 100 мл; конічна колба ємністю 150 мл; ділильна лійка з корком; штатив; водоструменевий вакуумний насос; хроматографічна колонка з діаметром 10 мм, фільтрувальний папір, лійка; пробірки.

Інструкція до виконання:

Дослід 1. Налити в пробірку декілька мілілітрів розбавленого водного розчину будь-якої фарби, насипати туди ж 0,3 – 0,5 г дрібно стовченого активованого вугілля. Збовтувати вміст пробірки протягом 2 – 3 хв., після чого рідину відфільтрувати в чисту пробірку. Чим пояснюється зникнення забарвлення взятого розчину? Дати пояснення.

Дослід 2. Налити в пробірку 2 – 3 мл розчину плюмбум нітрату і такий же об'єм розчину калій йодиду. Яка речовина випала в осад? Її забарвлення? Написати рівняння реакції. Налити в невелику колбу близько 10 мл розчину плюмбум нітрату і всипати туди ж 2 – 3 г дрібно стовченого активованого вугілля. Суміш збовтувати протягом декількох хвилин, після чого відфільтрувати 2 – 3 мл рідини в чисту пробірку. До фільтрату додати 2 – 3 мл розчину калій йодиду. Спостерігайте за результатом досліду. Чому не утворився осад? Дати пояснення. Зробити висновки.

Дослід 3.

а) У дві плоскодонні колби налити по 100 мл дистильованої води. В кожен додати по 10 крапель йодної настоянки за допомогою одноразової крапельниці. В одну колбу додати 1 г білого вугілля, а в іншу 1 г активованого вугілля. Закрити колби корками і ретельно струшувати протягом 5 хвилин. Потім залишити розчини на кілька хвилин, щоб вони відстоялись. Спостерігайте за забарвленням розчинів. Якщо забарвлення розчинів у колбах набуло синього кольору, це свідчить про те, що під час виготовлення медичних препаратів використовували крохмаль. Підігріти вміст колб на електричній плитці протягом кілька хвилин. Зафіксуйте забарвлення розчинів. Зробіть висновки.

б) У дві плоскодонні колби налити по 100 мл дистильованої води. В кожен додати по 3-5 крапель розчину барвника, наприклад, брильянтового зеленого, за допомогою одноразової крапельниці. В одну колбу додати 1 г білого вугілля, а в іншу 1 г активованого вугілля. Закрити колби корками і ретельно струшувати протягом 5 хвилин. Потім залишити розчини на кілька хвилин, щоб вони відстоялись. Спостерігайте за інтенсивністю забарвлення розчинів та опишіть спостереження.

Лабораторне заняття № 2 (4 год)

Тонкошарова хроматографія

Мета заняття. Ознайомлення з прийомами проведення тонкошарової хроматографії на прикладі розділення суміші амінокислот.

План заняття

Засвоїти методику визначення якісного складу суміші речовин за допомогою паперової хроматографії.

2. Провести розділення суміші амінокислот хроматографією на папері.

3. Розрахувати R_f кожної плями і визначити склад контрольної суміші амінокислот.

Контрольні питання

1. Які речовини використовують у якості розчинників для розділення суміші амінокислот?

2. Підготовка хроматографічної камери до аналізу.

3. В чому полягають недоліки та переваги даного методу перед іншими при визначенні амінокислот?

4. Що таке величина R_f , і за якою формулою проводять її обчислення?

5. Яким засобом отримують та обчислюють значення R_{st} ?

Підготувати повідомлення на одну з тем із презентацією

1. Розчинники у паперовій хроматографії. Метод обернених фаз

2. Одновимірні та двовимірні хроматографії. Приклади застосування в аналізі

3. Радіальна хроматографія. Приклади застосування в аналізі

4. Суть електрофоретичної хроматографії.

5. Тонкошарова хроматографія та використання в якісному і кількісному аналізі

6. Приклади застосування афінної хроматографії.

7. Методи застосування паперової хроматографії в медичній практиці

8. Методи застосування паперової хроматографії в фармації

9. Методи застосування паперової хроматографії в біології

Критерії оцінювання

№ заняття:	Кількість балів за кожен вид роботи	Вид роботи:										Сумарна кількість балів
		ТП	ДП	ПП	ПЗ	ОЗ	ТЗ	ІНДЗ	УО	...	...
2		15	10	20	20	15	10		10			100

ТП – відповідь на теоретичні питання; ДП – демонстрація підготовленої презентації; ПП – презентація/ повідомлення; ПЗ – виконання практичного завдання; ОЗ – оформлення заняття; ТЗ – виконання тестових завдань; ІНДЗ – перевірка індивідуальних завдань; УО – участь в обговоренні

Література та інтернет-джерела

1. Сорочан О.О., Штеменко Н.І. Методи аналізу амінокислот: Навч.-метод. посіб. – Д.: РВВ ДНУ, 2005. – 60 с.

<https://www.biochemistry-dnu.dp.ua/wp-content/downloads/metodichki/dyomshina-aminoacid-analys-metod2005.pdf>

2. Методичні вказівки до вивчення курсу “Хроматографічні методи розділення органічних сполук” для студентів спеціальності “Хімічна технологія органічних речовин”. Укладачі: О.Г.Юрченко, В.М.Родіонов. - К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2008. - 130 с

3. Лекція https://www.youtube.com/watch?v=5bzcR8PVQ_o

4. Тонкошарова хроматографія

<https://www.youtube.com/watch?v=oGj0gWDkbOU>

5. Розділення компонентів чорнил (висхідна хроматографія)

<https://www.youtube.com/watch?v=N9ZgYZ094Jk>

Теоретичні відомості

Вперше тонкошарову хроматографію реалізували у 1944 році англійські вчені-хіміки Констон, Гордон, Мартін і Сінг для розділення амінокислот. Целюлозне волокно (паперова смужка) було нерухомою фазою, рухомою – органічний розчинник, який пересувається по капілярах паперу. Спочатку такий вид хроматографії назвали паперовою. Пізніше це поняття трансформувалось у тонкошарову хроматографію, до сорбентів якої віднесли і папір (целюлозу).

Тонкошарова хроматографія: тонкий шар сорбенту (НФ) наносять на скляну пластину, товщина шару сорбенту складає 0,22 мм (1938 рік, Шрайбер, Ізмайлов). Розділення речовин характеризують величиною R_f : $R_f = l_1/l_2$, де l_1 – відстань, на яку переміщується розчинена речовина, l_2 – відстань, на яку пересувається розчинник. На величину R_f впливають природа РФ, температура, час одержання хроматограми. Величина R_f пов'язана з коефіцієнтом утримання R_s : $R_s = 1,5 R_f$. Таким чином, R_f є якісною характеристикою речовин, які розділяють.

Паперова хроматографія: сорбент – целюлоза, це середовище, яке і розділяє, і сорбує, використовується для розділення сильно полярних речовин. Роль нерухомої фази може виконувати розчинник або конкурент за місце в абсорбційному шарі. Елююча сила розчинника - це його здатність до взаємодії з адсорбентом. Як правило її встановлюють експериментально.

Для одержання і проявлення хроматограм хроматографічну пластинку з нанесеними плямами розчину суміші компонентів на лінії старту розміщують в камері, насиченій парою розчинника. Компоненти суміші пересуваються і утворюють плями на різній відстані від лінії старту. Якщо плями забарвлені, хроматограму не треба проявляти. Хроматограми з безбарвними плямами проявляють різними засобами: обробка реагентами, парами йоду, УФ опромінюванням, сприскуванням H_2SO_4 та нагріванням до 100° , обробка індикаторами, які флуоресціюють.

Експериментальна частина

Реактиви: $C_9H_6O_4$, нінгідрин, розчин в ацетоні оцтовокислому або розчин нінгідрину в ацетоні 0,5%; $CuSO_4$, купрум сульфат, спиртовий розчин, 0,005%; $NiSO_4$, нікол сульфат, водний розчин, 1,0%; стандартні розчини амінокислот; розчинник для хроматографії (н-бутанол та крижана оцтова кислота). Системи

розчинників: а) н-бутанол-оцтова кислота-вода (4:1:5); б) ацетон-вода (3:2); в) н-бутанол-бензиловий спирт (1:1),

Обладнання: хроматографічні пластини, мікропіпетка, стакан (300 мл), годинникове скло або чашка Петрі, олівець, лінійка, пульверизатор (100 мл), сушильна шафа.

Інструкція до виконання:

Приготування реактивів

1. 0,5%-й розчин нінгідрину в ацетоні оцтовокислому.

Зважте 0,5 г нінгідрину, кількісно перенесіть у мірну колбу на 100 мл, додайте 10 мл ацетону. Додайте 4 мл дистильованої води та 1 мл льодяної оцтової кислоти, перемішайте, доведіть до мітки ацетоном.

2. CuSO_4 , купрум сульфат, спиртовий розчин, 0,005%.

Зважте 0,005 г $\text{CuSO}_4 \times 3\text{H}_2\text{O}$ на аналітичних вагах у хімічному стакані (бюксі). Додайте 21 мл дистильованої води. Кількісно перенесіть розчин у мірну колбу на 100 мл. Доведіть до мітки 96%-м етанолом;

3. 1,0%-й водний розчин нікель сульфату.

Зважте 1 г NiSO_4 , перенесіть у мірну колбу на 100 мл та доведіть до мітки дистильованою водою.

4. Стандартні розчини амінокислот (свідків).

Зважте та кількісно перенесіть у мірну колбу на 100 мл 0,1 г амінокислоти (або суміші амінокислот) та доведіть до мітки 0,1 н. розчином хлоридної кислоти або 10%-розчином етанолу.

б. Приготування 1 л 0,1 н. розчину хлоридної кислоти.

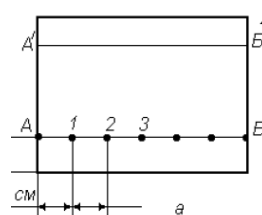
У мірну колбу на 1 л додайте 100 мл дистилату, відміряйте 9,6 мл 38 % HCl та кількісно перенесіть у мірну колбу. Доведіть об'єм до мітки дистильованою водою.

б. Розчинник для хроматографії.

Готувати під витяжкою! У хімічний стакан на 50 мл додайте 33 мл н-бутанолу, 8 мл крижаної оцтової кислоти та 8 мл дистильованої води. Перемішайте за допомогою скляної палички.

Увага: використовувати лише свіжоприготовлений!

1. За допомогою лінійки провести на відстані 1 см від нижнього краю горизонтальну пряму АБ (лінія старту). Намалювати кільця діаметром 3 мм на відстані 1 см одне від одного та проставити над ними порядкові номери. Від лінії старту на відстані 10 см провести пряму А'Б' (лінія фінішу).



2. Мікропіпеткою нанесіть на лінію по 3 мкл проб та свідків (так, щоб діаметр нанесеної плями становив не більше ніж 3 мм) на відстані 1 см один від одного. Крапля, яку наносять, не повинна поширюватися за межі намальованого кільця. Розчин на кожне кільце нанести 5-6 разів після висихання попередньої краплі.

3. У хімічний стакан на 1 л налийте 35 мл розчинника (з розрахунку на утворення шару рідини висотою не більше 0,5 см – *хроматографічна камера*).

Підготовка хроматографічної камери Зазвичай проводять висхідну тонкошарову хроматографію, використовуючи скляні хроматографічні камери із кришками, які забезпечують герметичність. Розчинник наливають на дно камери та поміщують у нього нижній край хроматографічної пластинки. При використанні тонкошарової

хроматографії враховують особливість, яка не спостерігається при колоночній хроматографії, — випарювання розчинника із верхнього шару, у разі якого збільшується час міграції даної речовини. Із розчинника складного вмісту, в першу чергу випарюються найбільш леткі компоненти, що призводить до зміни вихідного співвідношення компонентів суміші. Інтенсивність випаровування знижується в напрямку від країв до центру платівки, тому виникає викривлення фронту розчинника, та в результаті величина R_f на краях хроматограми буде більше, ніж в центрі.

4. Розмістіть хроматографічну пластинку в хроматографічній камері вертикально, застосовуючи підпірки.

5. Накрийте камеру часовим склом або чашкою Петрі. Зачекайте 30 хв. Випаровування розчинника при тонкошаровій хроматографії погіршує визначення величини R_f . Для того щоб вирішити цю проблему, слід постійно підтримувати у камері атмосферу насичених парів. Це досягається вистиланням стінок камери фільтровальним папером, який змочений розчинником, або зменшенням до мінімуму об'єма хроматографічної камери (сендвіч-камера).

6. Нагрійте в сушильній шафі протягом години за температури $80\text{ }^\circ\text{C}$.

7. Вийміть хроматографічну пластинку і перемістіть її до витяжної шафи. Коли розчинник повністю випариться, хроматограму проявити.

8. Як проявник для α -амінокислот використовувати розчин нінгідрину ($\omega(\text{нінгідрину})=0,5\%$) в ацетоні. Під витяжною шафою цим розчином обприснути хроматограму декілька разів з пульверизатора так, щоб папір став тільки слабо вологим та на ньому не утворювались би розмиті струмені розчину.

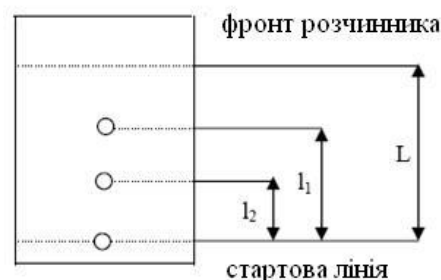
9. Потім висушити папір або пластинку на повітрі та перенесіть у сушильну шафу та висушіть пробу за температури $90\text{ }^\circ\text{C}$ протягом 6 хв до появи лілових плям. Значно краще висушити хроматограму поступово темряві.

10. Плями, що проявилися, легко обвести олівцем, позначити центр плями олівцем та при бажанні закріпити розчином нікелю сульфату, після чого ще раз просушити хроматограму на повітрі.

11. Якісний склад контрольної суміші амінокислот визначити за значенням R_f кожної плями, порівнюючи з R_f , що обчислені за хроматограмою для “свідків”. Значення R_f амінокислот цієї системи: гліцин 0,13; аланін 0,18; валін 0,36; фенілаланін 0,46.

У цьому варіанті задачу можливо виконати і для інших амінокислот, а також для простіших вуглеводів. При хроматографуванні вуглеводів їх проявляють амоніачним розчином аргентум нітрату (чорна пляма).

Для оцінки хроматографічної поведінки речовини в певних умовах використовують величину R_f – *коефіцієнт утримання*, яка дорівнює відношенню відстані L_2 , пройденої речовиною, до відстані L_1 , пройденої розчинником: $R_f = L_2/L_1$. R_f можуть мати значення від 0 до 1. При $R_f=0$ компонент суміші залишається на лінії старту, а при $R_f=1$ – рухається разом з фронтом розчинника. Значення R_f залежить



від розподілу речовини, складу рухомої фази, типу паперу, температури, часу хроматографування, техніки експерименту. Зробити висновки

Лабораторне заняття № 3-4 (8 год)

Побудова ізотерм адсорбції сполук на поверхні кремнезему

Мета заняття. Освоїти основні етапи вивчення сорбційних властивостей кремнеземних матеріалів

План заняття

1. Приготування розчинів
2. Взяття навалки сорбенту та проведення процесу сорбції
3. Проведення вимірювань та побудова калібрувального графіку
4. Визначення концентрації іонів у розчині до сорбції
5. Проведення сорбції та визначення концентрації іонів після сорбції
6. Проведення розрахунків.

Питання для самостійного опрацювання

1. Наведіть визначення понять “адсорбція”, “абсорбція”, “адсорбент”, “адсорбат”, “коефіцієнт розподілу”, “ізотерма адсорбції”.
2. Назвіть основні типи ізотерм адсорбції. Поясніть відмінність між поняттями “адсорбція” і “сорбція”.
3. Назвати фактори, від яких залежить адсорбція
4. Характеристика хімічної і фізичної адсорбції
5. Способи приготування розчинів та встановлення їх концентрації
6. Поняття про ізотерму адсорбції. Типи ізотерм

Підготувати повідомлення або презентацію на одну з тем

1. Ізотерма адсорбції Ленгмюра
2. Ізотерма адсорбції Фрейндліха
3. Типи адсорбційних взаємодій. Поняття про фізичну та хімічну адсорбцію
4. Основні закономірності адсорбції на твердих тілах
5. Поняття про фізичну та хімічну адсорбцію
6. Типи ізотерм адсорбції. Їх інтерпретація
7. Полімолекулярна адсорбція
8. Капілярна конденсація

Рекомендована література

1. Іваненко І.М., Донцова Т.А., Феденко Ю.М. Адсорбція, адсорбенти і каталізатори на їх основі.- Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 232 с.
2. Федорченко С. В. Хроматографічні методи аналізу. - Івано-Франківськ : Прикарп. нац. ун-т ім. В. Стефаника. - 2012. – 146 с.

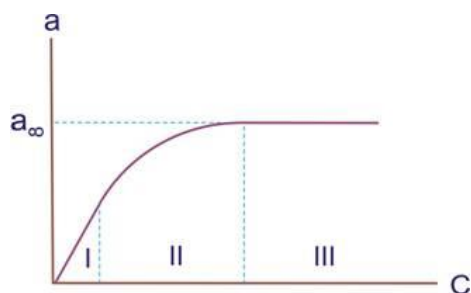
Критерії оцінювання

№ заняття:	Кількість балів за кожен вид роботи	Вид роботи:										Сумарна кількість балів
		ТП	ДП	ПП	ПЗ	ОЗ	ТЗ	ІНДЗ	УО	...	...
3-4		20		30	20	20			10			100

ТП – відповідь на теоретичні питання; ДП – демонстрація підготовленої презентації; ПП – презентація/ повідомлення; ПЗ – виконання практичного завдання; ОЗ – оформлення заняття; ТЗ – виконання тестових завдань; ІНДЗ – перевірка індивідуальних завдань; УО – участь в обговоренні

Теоретичні відомості

Кількісно адсорбція характеризується величиною адсорбції Γ , що показує кількість адсорбтива X , що адсорбувалася одиницею маси або поверхні адсорбенту: $\Gamma = X / m$ або $\Gamma = X / S$, де m і S - відповідно маса і площа поверхні адсорбенту.



Величину адсорбції часто виражають в ммоль/г. Величина адсорбції залежить від різних чинників: природа адсорбенту і адсорбтива, концентрації адсорбтива в об'ємі фази, температури та інших чинників. Ізотермою адсорбції є залежність величини адсорбції від рівноважної концентрації речовини в розчині при адсорбції з розчинів /або від тиску газів при адсорбції газової фази/, при постійній

температурі. Для математичного опису ізотерми мономолекулярної адсорбції використовують рівняння ізотерми Ленгмюра:

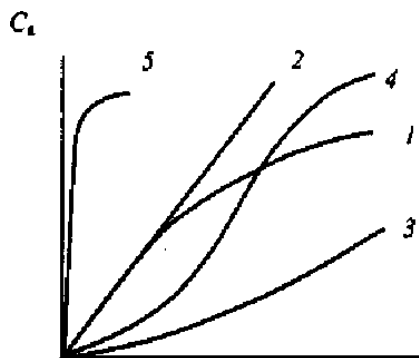
$$A = A_{\max} * kC / (1 + kC)$$

Ізотерма адсорбції. Для адсорбента певної маси кількість адсорбованої речовини залежить від концентрації (чи парціального тиску) речовини, що адсорбується. Чим вища концентрація чи парціальний тиск речовини, тим більше її адсорбується. Залежність кількості речовини, адсорбованої з газуватої або рідкої фази (a), від її концентрації в розчині (C) у стані рівноваги за сталої температури називають *ізотермою адсорбції*. Графіки $a = f(c)$ або $a = f(p)$ при $T = \text{const}$ називають **ізотермами адсорбції**. Вигляд звичайної ізотерми наведений на рис 1.

Вона має три характерні ділянки. Початкова, яка стрімко піднімається вгору майже прямолінійною ділянкою, показує, що за невеликих концентрацій адсорбція пропорційна концентрації. Це область, у якій виконується закон Генрі: $a = K * c$, де K - константа Генрі, яка не залежить від концентрації c . В області I поверхня адсорбенту більш вільна.

Майже горизонтальна ділянка III відповідає великим концентраціям і поверхні адсорбенту, яка повністю насичена адсорбатом. За цих умов, якщо на поверхні утворюється лише мономолекулярний шар адсорбату, кількість його практично не залежить від концентрації. Середня ділянка II кривої відповідає проміжним ступеням заповнення поверхні.

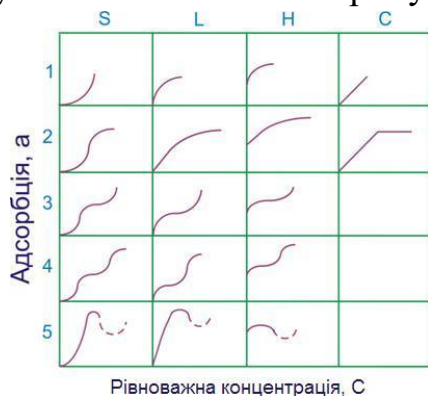
Основні типи ізотерм адсорбції наведено на рисунку «Основні типи ізотерм адсорбції»:



1 – випукла, ізотерма Ленгмюра (1 –тип); 2 – ізотерма Генрі (прямолінійна); 3 – увігнута, ізотерма Фрейндліха; 4 – s-подібна; 5 – H-тип (хемосорбція)

Фундаментальним внеском у вчення про адсорбцію є теорія Ленгмюра. Ця теорія дозволяє враховувати найбільші відхилення від закону Генрі, пов'язані з обмеженістю поверхні адсорбенту. Ця обставина приводить до адсорбційного насичення поверхні адсорбенту в міру збільшення концентрації

адсорбованої речовини. Це положення є основним у теорії Ленгмюра та уточнюється такими припущеннями:



1. адсорбція локалізована на деяких адсорбційних центрах, кожен із яких взаємодіє тільки з однією молекулою адсорбату;

2. адсорбційні центри енергетично еквівалентні;

3. адсорбовані молекули не взаємодіють одна з одною.

Одним із опорних пунктів теорії Ленгмюра є констатація відсутності взаємодії частинок адсорбату в адсорбційному шарі. Однак ленгмюровська адсорбція є

лише окремим випадком у різноманітному світі адсорбційних процесів. На рис. наведені різні форми ізотерм адсорбції з розбавлених розчинів.

Виходячи з форми початкової ділянки, були виділені чотири характерних класи ізотерм (S, L, H, C). Розподіл ізотерм на окремі типи в кожному класі пов'язаний із подальшою зміною їх форми при більш високих концентраціях. Клас L (клас Ленгмюра) є найбільш загальним. Ізотерми типу L2 досягають насичення, подальша адсорбція, вища за цей рівень, дає ізотерму типу L3. Якщо досягається друге плато – то маємо справу з ізотермою L4. Для ізотерм типу L5 характерна наявність максимуму. Максимум відображає змінення стану речовини в розчині - наприклад, асоціацію молекул при визначеній концентрації. Подібний, хоча й не такий повний, набір типів ізотерм отриманий і для інших класів.

Початкова ділянка ізотерм S-класу вигнута відносно осі концентрацій, однак надалі часто іде точка перегину, що і надає ізотермі характерну S-подібну форму.

Ізотерми класу H (висока спорідненість - high) спостерігається за найсильнішої адсорбції при дуже низьких концентраціях; вони перетинаються з віссю ординат. Ізотерми класу C (constant) мають початкову лінійну ділянку, що вказує на сталий розподіл розчиненої речовини між розчином і адсорбентом (стала швидкість адсорбції).

Теоретичний аналіз різних типів ізотерм адсорбції дозволяє отримати багато корисної інформації про механізм адсорбції. При цьому слід брати до уваги величину енергії активації процесу видалення молекул адсорбату з поверхні адсорбенту. Якщо взаємодія між адсорбованими молекулами дуже мала, енергія

активації не залежить від ступеня заповнення поверхні, а це призведе до ізотерми типу L або H.

Якщо сила взаємодії між адсорбованими молекулами більша від сили взаємодії між розчиненою речовиною й адсорбентом, енергія активації підвищується й адсорбція описується ізотермою типу S. У цьому випадку молекули розчиненої речовини прагнуть розміститися на поверхні у вигляді ланцюгів.

Ізотерми типу H спостерігаються в тих випадках, коли проходить хемосорбція.

Ізотерма типу C є характерною для адсорбції на мікропористих адсорбентах і відповідає таким умовам, за яких кількість адсорбційних центрів залишається постійною в широкій області концентрацій. У міру заповнення одних центрів з'являються нові, і доступна для адсорбції поверхня збільшується пропорційно кількості адсорбованої речовини.

Експериментальна частина

Прилади, посуд, реактиви: Фотоелектроколориметр. Конічні колби об'ємом 100 мл, 5 шт. Мірні колби об'ємом 100 мл, 5 шт. Мірні колби об'ємом 250 мл, 2 шт. Градуїрована піпетка на 10 мл, піпетка Мора об'ємом 25 мл, 1шт. Стандартний розчин купрум(II) сульфату (1 мг Cu^{2+} в 1 мл=0,0156 М). Розчин аміаку 5 %-ний. Мірні колби.

Інструкція до виконання (4 год):

Приготування стандартного розчину. Приготувати 250 мл модельного розчину, що містить концентрацію іонів купруму 1мг/мл. Для цього зважити на аналітичних вагах в мірному стаканчику 0,94 г мідного купоросу (з точністю до 4 цифр після коми), розвести дистильованою водою і перенести в мірну колбу на 250 мл. Після точного зважування розрахуйте вміст іонів Cu^{2+} у мг/мл з точністю 4 цифри після коми. Модельний розчин розвести так, щоб одержати у мірній колбі на 250 мл розчин із концентрацією 0,4 мг/мл (розведення у 2,5 рази).

Визначення кінетики процесу сорбції. Зважити на аналітичних вагах на предметному склі п'ять зразків по 0,5 г сорбенту. Перенести їх в 5 конічних колб об'ємом 100 мл, внести в кожну з них піпеткою Мора по 25 мл модельного розчину купрум(II) сульфату. Струшувати колби наступним чином: першу колбу протягом 15 хвилин, другу колбу протягом 30 звинин, третю- протягом 45 хвилин, четверту – 60 хвилин та п'яту - 75 хвилин. Після закінчення часу змішування відфільтрувати розчини від сорбента і проаналізувати їх на вміст іонів купруму (за нижче вказаною методикою) разом із вихідним модельним розчином. Розрахувати ступінь вилучення іонів важких металів (R, %) із модельного розчину за формулою: $R = (C_0 - C_p) / C_0 * 100\%$, де C_0 і C_p – вихідна і кінцева концентрація іонів купруму, відповідно, мг/л. За отриманими результатами побудувати графік залежності ступеня вилучення від тривалості сорбції $R = f(\tau)$.

Побудова градуовального графіка. Приготуйте стандартні розчини тетраамінкупрум(II) сульфату з вмістом купрум(II) 2,5 мг; 5 мг; 10 мг; 15 мг; 20 мг; 25 мг; використовуючи вихідний робочий розчин CuSO_4 , що містить 1 мг/мл Cu^{2+} . Для цього в мірні колби місткістю 50 мл внесіть: відповідно 2,5 мл; 5,0 мл; 10 мл; 15 мл; 20 мл; 25 мл робочого розчину солі купруму; 10 мл 5 % розчину аміаку. Розрахуйте концентрації у кожній колбі (мг/мл).

Доведіть об'єм кожної колби до позначки дистильованою водою. Добре перемішайте розчини і фотометруйте їх в кюветах з $l = 1$ см. Як розчин порівняння візьміть розчин комплексу, що містить 5 мг Cu^{2+} . Якщо вміст купрум(II) у розчині, який фотометрують є меншим ніж в розчині порівняння, встановіть по ньому оптичний нуль приладу і по відношенню до нього виміряйте світлове поглинання досліджуваного розчину. Знайдене значення оптичної густини візьміть із знаком "-". Вимірювання оптичної густини кожного розчину проведіть не менше трьох разів. Одержані дані занесіть у таблицю:

Cu^{2+} , мг/мл						
D						

З одержаних даних побудуйте градуовальник графік залежності оптичної густини D тетраамінкупрум(II) сульфату від концентрації C.

Інструкція до виконання (4 год):

Визначення сорбційної ємності сорбента. Приготувати і пронумерувати 5 мірних колб об'ємом 100 мл. В кожній з колб приготувати розчин з різними концентраціями іонів купруму: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 мг/л. Для цього використовують модельний розчин з концентрацією 1 мг/мл і його розводять відповідно у 10, 20, 30, 40, 60 разів. Порядок розведення наступний: в першу мірну колбу внести Для цього внести в кожну з них градуованою піпеткою відповідно по 10; 5; 3,3; 2,5; 1,7 мл модельного розчину і розвести до мітки дистильованою водою. Зважити 5 наважок сорбента по 0,5 г і помістити їх у конічні колби місткістю 100 мл. Внести в кожну з колб із сорбентом по 25 мл приготовлених розчинів, відмірявши їх піпеткою Мора. Залишити колби на 60 хвилин, періодично струшуючи їх вміст і після закінчення часу відфільтрувати розчини від сорбенту та проаналізувати їх на вміст іонів купруму (за нижче вказаною методикою). Визначити вихідну концентрацію іонів купруму у модельних розчинах (за нижче вказаною методикою). Розрахувати адсорбцію іонів купруму з модельних розчинів за формулою:

$A = (C_0 - C_p) \cdot V/m$, де C_0 і C_p – вихідна та рівноважна концентрації іонів купруму, відповідно, мг/л³ ; V – об'єм розчину, який очищується, мл ; m – маса наважки сорбента, г. За розрахованими даними побудувати графік залежності величини адсорбції від концентрації іонів купруму у розчині $A = f(C)$ – ізотерму адсорбції.

Лабораторне заняття № 5 (4 год)

Іонообмінні смоли та їх використання для знесолення води

Мета заняття. Оволодіння методикою проведення іонообмінної хроматографії для вилучення солей із водних розчинів.

План заняття

1. Приготування іонообмінника
2. Приготування розчинів
3. Здійснення процесу іонообмінної хроматографії
4. Визначення вмісту натрій хлориду в досліджуваному розчині

Контрольні питання

1. Розкрити суть іонного обміну. Загальні характеристики та типи іонітів.
2. Техніка виконання іонообмінної хроматографії: умови досліджень, підготовка іонітів різної природи.
3. Хімічні процеси, що відбуваються під час іонного обміну на катіонітах та аніонітах
4. Що таке адсорбційна ємність іонообмінників.
5. Як проводиться елюювання речовин з іонообмінників.

Приклади тестових завдань

1. При проведенні катіонної іонообмінної хроматографії затримуються:
а) позитивно заряджені катіони б) негативно заряджені аніони в) аніони і катіони г) нейтральні молекули
2. при проведенні аніонної іонообмінної хроматографії затримуються: а) позитивно заряджені катіони б) негативно заряджені аніони в) аніони і катіони г) нейтральні молекули
3. Катіоніти – це а) іоніти, у яких іоногенні протиіонами є катіони б) іоніти, у яких іоногенні протиіонами є аніони в) матеріал, який повинен обмінюватись на аніони електроліту г) матеріал, який поглинає молекули з розчину
4. Яка схема описує процес із використанням аніоніту: а) $R-SO_3^-H^+ + Na^+ \leftrightarrow R-SO_3^-Na^+ + H^+$ б) $R-NH_4^+OH^- + Cl^- \leftrightarrow R-NH_4^+Cl^- + OH^-$ в) $NH_3 + OH^- \leftrightarrow NH_4OH$ г) $SO_4^{2-} + Na^+ \leftrightarrow Na_2SO_4$
5. Яким способом можна регенерувати катіоніт: а) пропустити крізь нього хлоридну кислоту б) пропустити крізь нього луг в) промити водою г) пропустити крізь нього розчин соди
6. Оберіть послідовність процесів які відбуваються за участю іонообмінної смоли
а) дифузія іонів всередині гранули б) дифузія іонів розчину до поверхні гранули
в) протікання реакції іонного обміну г) дифузія протиіону від поверхні в розчин

Рекомендована література

1. Лисенко О.М., Набиванець Б.Й. Вступ до хроматографічного аналізу: навч. посіб. – К.: Корвін-прес, 2005. – 187 с
2. Іонний обмін та іонообмінна хроматографія / В.О. Мінаєва. – Черкаси: Вид. від. ЧНУ ім. Богдана Хмельницького, 2013. – 128 с.
3. https://biology.univ.kiev.ua/images/stories/Kafedry/biofiziki/Library/ion-chrom_lek3.pdf

4. <https://ecosoft.ua/ua/blog/ionoobmennye-tekhnologii/>
5. Іонообмінна хроматографія
<https://www.youtube.com/watch?v=o3oBO-VGCH4>
6. <https://ecosoft.ua/ua/blog/ionoobmennye-tekhnologii/>
7. <https://biologynotesonline.com/uk/cation-exchange-chromatography-principle-protocol-uses/>

Критерії оцінювання

№ заняття:	Кількість балів за кожен вид роботи	Вид роботи:										Сумарна кількість балів
		ТП	ДП	ПП	ПЗ	ОЗ	ТЗ	ІНДЗ	УО	...	...
5		20			20	20	30		10			100

ТП – відповідь на теоретичні питання; ДП – демонстрація підготовленої презентації; ПП – презентація/ повідомлення; ПЗ – виконання практичного завдання; ОЗ – оформлення заняття; ТЗ – виконання тестових завдань; ІНДЗ – перевірка індивідуальних завдань; УО – участь в обговоренні

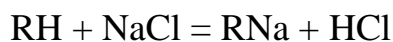
Теоретичні відомості

Принцип іонообмінної хроматографії полягає в тому, що заряджені молекули зворотно адсорбуються на іонообміннику так, що молекули можуть зв'язуватися і виділятися залежно від іонного складу середовища. Розділення на іонообмінниках зазвичай проводиться в дві стадії: спершу сполука, яку потрібно виділити, зв'язується з іонообмінником досить стабільним зв'язком, потім колонку з іонообмінником промивають буферним розчином з іншим значенням рН або з іншою іонною силою, внаслідок чого компоненти буфера конкурують із зв'язаною речовиною за зв'язуючий центр.

Іонообмінники зазвичай мають тривимірну структуру типу матриці, що містить ковалентно пов'язані з нею заряджені групи. Якщо групи заряджені негативно, вони обмінюватимуть позитивні іони; в цьому випадку вони служать катіонообмінниками, або катіонітами. Якщо групи заряджені позитивно, вони обмінюватимуть негативні іони, в цьому випадку - це аніонообмінники, або аніоніти.

Важливою характеристикою іонообміннику є *обмінна ємність* - величина, що показує максимальну кількість іонів, яку здатний зв'язати іонообмінник. Обмінна ємність визначається кількістю фіксованих іонів, від яких залежить заряд матриці. Це означає, що електричний заряд іонів у будь-якому місці і часі в іоніті має бути компенсований зарядом протіонів (іони, які компенсують заряд каркаса іонообмінника). Для низькомолекулярних іонів обмінна ємність іонообмінника залежить від ступеня доступності всього об'єму пористої матриці для молекул, від співвідношення розмірів молекул речовини, а також від середньої відстані між іоногенними групами.

У роботі при пропусканні досліджуваного розчину через сильнокислотний катіонообмінник в Н-формі в результаті реакції іонного обміну відбувається реакція:



і утворюється хлоридна кислота, вміст якої визначають титриметрично методом алкаліметрії.

Експериментальна частина

Прилади та реактиви: хроматографічна колонка, катіоніт КУ-2 в Н-формі, мірні стакани об'ємом 150 мл та 200 мл, піпетка об'ємом 10 мл, бюретка на 25 мл; 0,1 н розчин натрій гідроксиду, досліджуваний розчин натрій хлориду, метиловий оранжевий

Інструкція до виконання:

1. Переведення катіоніту в Н-форму.

Для переведення катіоніту в Н-форму через колонку пропустити 200 мл 2 н розчину HCl зі швидкістю 1-2 краплі за с. Потім катіоніт відмити від надлишку кислоти 200 – 250 мл дистильованої води (швидкість пропускання 2-3 крапель за секунду). Періодично відбирати на годинникове скло кілька крапель розчину, що витікає з колонки, та перевіряти рН середовища за допомогою індикатора метилового оранжевого. Промивання проводити до отримання жовтого забарвлення індикатору. Над шаром катіоніту весь час повинна знаходитись рідина. У випадку утворення в колонці бульбашок повітря катіоніт слід розпушити скляною паличкою.

2. Проведення іонного обміну.

Досліджуваний розчин із натрій хлоридом, помістити в мірну колбу ємністю 100 мл, довести до мітки дистильованою водою, перемішати. Відібрати 10 мл цього розчину та пропустити через колонку зі швидкістю 1 крапля за секунду. Розчин, який витікає з колонки (елюат) зібрати в конічну колбу ($V=250$ мл). Для повного вимивання кислоти, що виділяється (рН перевіряють за метилоранжем) через колонку пропускають 60 – 100 мл дистильованої води по 10 – 15 мл, ретельно збираючи елюат в ту ж конічну колбу.

3. *Титриметричне визначення кислоти.* Отриманий розчин відтитрувати розчином натрій гідроксиду до переходу рожевого забарвлення до жовтого. Розрахувати вміст натрій хлориду, що еквівалентний вмісту хлоридної кислоти.

Лабораторне заняття № 6 (4 год)

Іонообмінні смоли та їх використання в наукових дослідженнях

Мета заняття. Обговорення новітніх наукових досягнень в галузі сорбційних методів

План заняття

Презентація та обговорення індивідуальних завдань здобувачів

Індивідуальні завдання

Опацювати наукову публікацію і презентувати власне бачення даної теми

Рекомендована література

1. Хлинцева С. В., Вишнікін А. Б. Іонообмінне розділення поліфосфатів та їх комплексних сполук з Zn(II). Методи та об'єкти хімічного аналізу, 2009, т. 4, № 2, С. 139–144.

2. Пономаренко О.М, Сукач В.В, Самчук А.І, Красюк О.П, Огар, Т.В, Коваленко О.О. Особливості розподілу рідкісноземельних елементів в базит-ультрабазитах Середньопридніпровського мегаблоку Українського щита. Геохім. та рудоутв. 2014. Вип. 34 с. 26-33
3. Грабітченко В. М., Трус І. М., Гомеля, М. Д. Розділення сульфатів і нітратів під час іонообмінного знесолення води. Вісник НТУУ “КПІ імені Ігоря Сікорського”. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження, 2014, № 2, 72–76.
5. Макаренко І. М., Трус І. М., Грабітченко В. М. Іонообмінне знесолення та пом'якшення вод із підвищеними рівнями мінералізації та жорсткості. Праці Одеського політехнічного університету, 2014
6. Гомеля М. Д. Оцінка впливу хлоридів на іонообмінне очищення води від нітратів. Екологія и промисленность. – 2015. – № 1, 45. – С. 61-65.
7. Гомеля М.Д., Трус І.М., Петриченко А.І., Грабітченко В.М. Іонообмінне знесолення високомінералізованих вод Збірка тез доповідей XVII Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих учених «Екологія. Людина. Суспільство». м. Київ, Україна, 2014 р. С.86
8. Грабітченко В. М. Комплексна переробка високомінералізованих стоків в екологічно безпеченому промисловому водоспоживанні <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/8e94ea47-a142-4ca5-8887-0f50f294b502/content>
9. Сухарева А. С., Трохименко Г. Г., Гомеля М. Д. Електрохімічне розділення міді й цинку в процесі іонообмінного очищення води Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування, 2017.
10. Методи очищення води для питнього та промислового водопостачання. <https://www.slideshare.net/slideshow/ss-77144168/77144168#1>

Критерії оцінювання

№ заняття:	Кількість балів за кожен вид роботи	Вид роботи:										Сумарна кількість балів
		ТП	ДП	ПП	ПЗ	ОЗ	ТЗ	ІНДЗ	УО	...	...
6		20			20	20		30	10			100

ТП – відповідь на теоретичні питання; ДП – демонстрація підготовленої презентації; ПП – презентація/ повідомлення; ПЗ – виконання практичного завдання; ОЗ – оформлення заняття; ТЗ – виконання тестових завдань; ІНДЗ – перевірка індивідуальних завдань; УО – участь в обговоренні

Лабораторне заняття № 7 (2 год)

Модульна контрольна робота № 1. Загальна характеристика, класифікація деяких важливих сорбційних матеріалів

Завдання до модульної роботи

Підготувати повідомлення на одну з тем

1. Застосування сорбційних процесів у водо підготовці
2. Сорбційні процеси, що використовують при аналізі і виготовленні медичних препаратів.
3. Моніторинг довкілля із використанням сорбентів різної природи.
4. Роль адсорбції в хімічному аналізі.
5. Адсорбційні матеріали в біологічних процесах.
6. Природні сорбенти в аналізі природних вод.
7. Технологічні процеси у водоочистці із застосуванням мінеральних сорбентів.
8. Твердофазна екстракція із застосуванням кремнеземних сорбентів.
9. Йонообмінна хроматографія для процесів очистки природних вод
10. Мінеральні та синтетичні іонообмінні матеріали. Їхні характеристики та класифікація. Приклади застосування.
11. Особливості сорбційного очищення вод від радіонуклідів та важких металів.
12. Способи модифікування поверхні мінеральних сорбентів. Механізми та особливості процесів.

Тестові завдання

1. Сорбат це
 - речовина, яка не затримується сорбентом
 - суміш речовин, які затримуються сорбентом
 - тверда речовина, розчин або суміш, які поглинають або затримують розчинені речовини та використовуються в хроматографії в якості нерухомої фази
 - речовина яка затримується сорбентом
2. Сорбент це
 - тверда речовина або розчин, які поглинають або затримують гази, пари, розчинені речовини та використовуються в хроматографії в якості нерухомої фази
 - тверда речовина або розчин, які поглинають але не затримують гази, пари, розчинені речовини та використовуються в хроматографії в якості нерухомої фази
 - тверда речовина, рідина або їх суміш, які поглинають або затримують гази, пари, розчинені речовини та використовуються в хроматографії в якості рухомої фази
 - тверда речовина, рідина або їх суміш, які не поглинають або не затримують гази, пари, розчинені речовини та використовуються в хроматографії в якості нерухомої фази
3. Елюент це
 - суміш речовин, що затримуються сорбентом
 - суміш, що використовується в якості нерухомої фази

- речовина яка затримується сорбентом
 - рідина, газ або парогазова суміш, які використовуються в якості рухомої фази
4. Елюат це
- потік рухомої фази з компонентами що виходить з хроматографічної системи
 - суміш, що використовується в якості рухомої фази
 - потік рідини, газу або парогазової суміші, що пересуває компоненти суміші що розподіляється, вздовж нерухомої фази
 - потік рухомої фази без компонентів що виходить з хроматографічної системи
5. Сорбція це
- процес при якому поглинаються гази, пари, чи розчинені речовини твердими або рідкими поглиначами
 - процес при якому виділяються поглинуті гази, пари, чи розчинені речовини твердими або рідкими поглиначами
 - процес при якому не виділяються поглинуті гази, пари, чи розчинені речовини твердими або рідкими поглиначами
 - процес при якому гази, пари розчиняються в твердих або рідких поглиначих
6. Що можна визначати методом хроматографії на папері?
- натрій хлорид у воді
 - нітрати у ґрунті
 - амінокислотний склад білків
 - карбон диоксид у повітрі
7. Вкажіть механізм розділення компонентів в паперовій хроматографії.
- адсорбційний
 - іонообмінний
 - розподільчий
 - осадовий
8. Іони іонообмінника, які компенсують заряд каркаса і здатні до обміну, носять назву
- амфолітами
 - матричними іонами
 - протиіони
 - обмінники
9. Фіксованими іонами у аніонітів частіше за все бувають
- AsO_3^{2-}
 - NH_2^+
 - PO_3^{2-}
 - NH_3^+
10. Вкажіть основні властивості іонітів:
- нерозчинність у воді та органічних розчинниках
 - механічна міцність
 - висока іонообмінна ємність
 - здатність іонообмінників легко регенеруватись
11. Якості іоніта визначаються
- сорбційною ємністю
 - фізичними властивостями

- хімічною стійкістю
 - роздільною здатністю
12. Фіксованими іонами у катіонітів частіше за все бувають

- COO^-
- NH_3^+
- PO_3^{2-}
- NH_2^+

13. Встановіть відповідність

Протиіони катіонітів	катіони
Протиіони аніонітів	аніони

14. Основною характеристикою якості іонообмінника є

- обмінна ємність
- здатність іоніту до регенерації
- швидкість іонного обміну
- хімічна стабільність

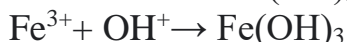
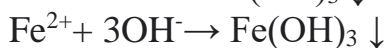
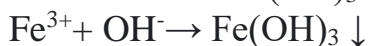
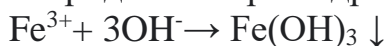
15. Іоніти, здатні обмінюватися і катіонами, і аніонами називаються:

- амфолітами
- катіонітами
- аніонітами
- змішаними іонітами

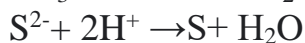
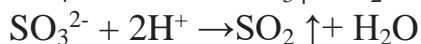
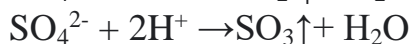
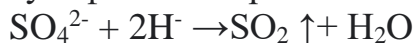
16. Іонний обмін - це

- обмін іонами між розчином і твердим сорбентом
- обміну іонами між розчином і іонообмінником
- обміну молекулами між розчином і іонообмінником
- жодної вірної відповіді

17. Вкажіть скорочене іонне рівняння, що відповідає реакції між ферум (III) хлоридом і натрій гідроксидом:



18. Вкажіть скорочене іонне рівняння, що відповідає реакції між натрій сульфідом і нітратною кислотою:



Задача

1. Через колонку з катіонітом в H^+ -формі пропустили $20,00 \text{ см}^3$ розчину KCl . На титрування елюату витрачено стандартний розчин натрій гідроксиду об'ємом $15,00 \text{ см}^3$ ($C(\text{NaOH}) = 0,1000 \text{ моль/дм}^3$). Розрахувати масу KCl в розчині, що аналізується в мг.

2. До $100,0 \text{ см}^3$ розчину цинк нітрату з молярною концентрацією еквівалента речовини $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ $0,05000 \text{ моль/дм}^3$ ($f^{\text{екв}}(\text{Zn}^{2+}) = 1/2$) додали $10,00 \text{ г}$ сухого катіоніту в H^+ формі. Після встановлення рівноваги молярна концентрація

речовини еквівалента $Zn(NO_3)_2$ зменшилась до 0,006000 моль/дм³. Визначити статичну обмінну ємність катіоніту в ммоль екв/г.

3. На підставі досліджених даних графічним методом розрахувати константи Γ_∞ та b в рівняннях Ленгмюра для адсорбції мурашиної кислоти з водного розчину вугіллям: Γ , моль/кг 0,124 0,186 0,238 0,267 Рівноважна молярна концентрація, моль/л 0,002 0,005 0,014 0,055.

4. Побудувати графік ізотерми адсорбції в координатах $x/m - c$, використовуючи експериментальні дані, отримані при вивченні адсорбції оцтової кислоти вугіллям при 25°C.

c , моль/см ³	0,018	0,031	0,062	0,126	0,268	0,471
x/m	0,467	0,624	0,801	1,11	1,55	2,04

Визначте константи рівняння за Фрейндліхом.

5. Побудувати ізотерму адсорбції карбон (IV) оксиду активованим вугіллям при 231 К і визначити константи емпіричного рівняння Фрейндліха, використовуючи такі експериментальні дані:

Рівноважний тиск $p \cdot 10^2$, Па	10,0	44,8	100,0	144,0	250,0	452
Величина адсорбції Γ , моль/кг	0,734	1,516	2,186	2,664	3,295	4,023

Індивідуальні завдання (для індивідуальщиків)

1. Наведіть приклади використання іонообмінної хроматографії для розділення амінокислот, пептидів, білків. Складіть схему очищення білку з використанням іонообмінної хроматографії. Підберіть умови розділення.

2. Прометеус, Курсера

Критерії оцінювання

№ заняття	Кількість балів за кожен вид завдання	Вид завдання:			
		тести	задача	повідомлення	всього
7		50	25	25	100

Лабораторне заняття № 8 (4 год)

Фізико-хімічні методи дослідження поверхні сорбційних матеріалів

Мета заняття. Дослідити деякі параметри сорбційних матеріалів з використанням фізичних методів дослідження.

План заняття.

1. Опрацювання теоретичних основ і положень
2. Підготовка розчинів і проведення досліджень (на вибір)
3. Оформлення результатів досліджень, формулювання висновків

Індивідуальні завдання. Підготувати усне повідомлення на тему

1. Вимірювання рН потенціометричним методом. Обладнання та розрахунки.
2. Функціональні групи поверхні активованого вугілля
3. Функціональні групи поверхня кремнеземів
4. Вимірювання в кількісному аналізі з використанням калібрувального графіка.
5. Вимірювання концентрації речовин з використанням фотометричного аналізу. Суть методу і розрахунки. Обладнання і посуд.
6. Атомно-абсорбційний спектральний аналіз. Суть методу, обладнання, розрахунки.
7. Закон світлопоглинання Бугера-Ламберта-Бера. Математичні формули, застосування в аналізі
8. Метод кислотно-основного титрування. Реагенти, розрахунки.
9. Способи приготування розчинів. Формули для обрахунків різних концентрацій розчинів. Закон еквівалентів і його використання в титриметричному аналізі.
10. Суть титриметричного аналізу. Способи титрування. Класифікація методів титриметричного аналізу.

Критерії оцінювання

№ заняття:	Кількість балів за кожен вид роботи	Вид роботи:										Сумарна кількість балів
		ТП	ДП	ПП	ПЗ	ОЗ	ТЗ	ІНДЗ	УО	...	...
8			10	20	20	15	10	15	10			100

ТП – відповідь на теоретичні питання; ДП – демонстрація підготовленої презентації; ПП – презентація/ повідомлення; ПЗ – виконання практичного завдання; ОЗ – оформлення заняття; ТЗ – виконання тестових завдань; ІНДЗ – перевірка індивідуальних завдань; УО – участь в обговоренні

Рекомендована література

1. Іваненко І.М., Донцова Т.А., Феденко Ю.М. Адсорбція, адсорбенти і каталізатори на їх основі. КПІ ім. Ігоря Сікорського – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 232 с.

<https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/29419/1/Adsortsia-adsorbenty-i-katalizatory-na-yikh-osnovi.pdf>

2. Кичкирук О.Ю. Аналітична хімія. Якісний та кількісний аналіз. Курс лекцій для студентів природничих факультетів. – Житомир: Вид-во ЖДУ імені Івана Франка, 2018. – 156 с.

3. https://www.slideshare.net/anna_chem/01-59988404

4. <https://simvolt.ua/priladi-dlya-vimiruvannya-kislotnosti-gruntu/>

5. Рубцов В. І. Потенціометричні методи дослідження розчинів : навчальний посібник – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2016. – 252 с.

Теоретичні відомості

Активне вугілля, в залежності від сфер застосування, поділяється на три групи: - освітлююче активне вугілля, що призначене для знебарвлення розчинів, тобто для адсорбції забарвлюючих домішок із крупними молекулами або частинками колоїдного ступеня дисперсності; 164 - вугілля газового типу, що використовується

для адсорбції газів, парів (за малих концентрацій) та розчинених речовин, молекули яких за розмірами близькі до молекул пароподібних речовин; - рекупераційне активне вугілля, що застосовується для уловлювання та повернення до виробництва парів летких розчинників (за високих концентрацій). До першої групи належить активне вугілля марок А, Б, АГС-4, ОС, МД та ін. Вугілля деревне освітлююче марок А та Б виготовляється із деревного вугілля-сирцю методом активації із наступним подрібненням у порошок; використовується для освітлення харчових, фармацевтичних та інших продуктів. Вугілля активне гранульоване марки АГС-4 застосовується для знебарвлення цукрових сиропів у цукрово-рафінадних виробництвах. Вугілля активне мелене деревне марки МД призначене для освітлення забруднених та забарвлених розчинів, а також для видалення різноманітних речовин із розчинів та паро- (газо-) повітряних сумішей. Вугілля освітлююче активне марки ОС використовується для очищення рідин від високомолекулярних смолистих та забарвлюючих речовин. Активне вугілля газового типу призначене для тонкого очищення та розділення газів, адсорбції розчинених речовин із малою площею молекули за відносно невеликих концентрацій, для видалення неприємного запаху з води, як каталізатор і основа каталізатора тощо. Сорбційна активність за йодом (йодний індекс, йодне число, адсорбція йоду) – кількість йоду в мг, яка може бути адсорбована 1 г порошкоподібного активного вугілля з розбавленого водного розчину, – один із найважливіших параметрів вугілля цього типу. Широко вживані марки вугілля газового типу такі, як СКТ, ДАК, КАД та інші. Вугілля активне марки СКТ використовується для уловлювання пари органічних розчинників, для очищення води та водних розчинів від різних домішок. Активне вугілля марки ДАК пристосоване для видалення масла із парового конденсату на ТЕЦ, для адсорбції емульсій типу «масло у воді», для видалення різноманітних речовин із розчинів. Активне вугілля КАД застосовується у промисловості для видалення йоду з мінералізованих бурових вод, поглинання різних речовин із розчинів та паро- (газо-) повітряних сумішей. КАД мелене використовується в кольоровій металургії при флотації руд корисних копалин. І для освітлюючого, і для газового активного вугілля адсорбційна активність за індикаторами – метиловим оранжевим і метиленовим блакитним є важливим фізико-хімічним показником, до якого ставляться жорсткі вимоги.

Експериментальна частина

Прилади, посуд, реактиви.

Електрична плитка, іономір, фотоелектроколориметр, центрифуга.

Фарфорова ступка, кювети с товщиною поглинаючого шару 10 мм, бюретки для титрування ємністю 25 мл, 2 шт, мірна колба місткістю 100 мл, 11 шт, конічна колба місткістю 100 мл, 5 шт, піпетки ємністю 1 та 10 мл, конічні колби, 6 шт.

Активоване вугілля, 0,05 М розчини HCl , NaOH , Na_2CO_3 і NaHCO_3 , фільтрувальний папір, розчини метилового оранжевого 150 мг/л та метиленового блакитного 0,15 %, рзчин йоду 0,1 М та натрій тіосульфату 0,1 М, індикатор крохмаль.

Дослід 1. Визначення рН поверхні вугілля (вугільної суспензії)

У фарфоровій ступці розтерти у порошок невелику кількість вихідного активованого вугілля. На аналітичних вагах і у конічній колбі на 250 мл зважують 0,2 г отриманого порошку і заливають 100 мл дистильованої води, щільно закривають і струшують протягом 0,5 годин. Потім кип'ятять 5 хвилин, швидко охолоджують проточною водою і фільтрують через знезолений фільтр, відкидаючи перші порції фільтрату. рН водної витяжки вимірюють рН-метром при безперервному перемішуванні, а дані оформляють у робочому зошиті.

Дослід 2. Функціональний склад поверхні активованого вугілля

1. На аналітичних вагах у пронумеровані конічні колби об'ємом 100 мл беруть чотири наважки (~0,25 г) активованого вугілля. У кожну колбу доливають по 50 мл 0,05 М НСІ, NaOH, Na₂CO₃ і NaHCO₃, щільно закривають і струшують протягом 0,5 годин.

2. Потім фільтрують, відкидаючи перші порції фільтрату, і відбирають по 5 мл фільтрату у колби для титрування. Визначають рівноважні концентрації розчинів та уточнюють їх вихідні концентрації.

3. Для титрування хлоридної кислоти використовують 0,05 М розчин NaOH та індикатор фенолфталеїн. Натрій гідроксид, натрій карбонат і натрій гідрокарбонат титрують 0,05 М НСІ у присутності метилового червоного.

4. Користуючись формулою закону еквівалентів розраховують кількість кислотних (Скисл, моль/г), карбоксильних (Скарб, моль/г), фенольних (Сфен, моль/г) та лужних (Сосн, моль/г) функціональних груп на поверхні досліджуваного активованого вугілля. Для цього припускають, що натрій карбонат нейтралізує найбільш сильні кислотні центри, гідрокарбонат – найбільш сильні кислотні та слабкокислотні карбоксильні групи, луг – ще і фенольні, тоді як кислота може взаємодіяти лише з поверхневими групами оснóвного типу. Усі дані заносять до таблиці.

V проби, мл	Об'єм титранта, що витрачено на титрування, мл				Кількість функціональних груп, моль/г				Маса сорбенту, г
	НСІ	NaOH	Na ₂ CO ₃	NaHCO ₃	Скисл	Скарб	Сфен	Сосн	
5									0,25 г
5									
5									
V сертитранта мл									

Лабораторне заняття № 9 (4 год)
Модифікування поверхні силікагелю органічними реагентами

Мета заняття. Провести модифікування поверхні силікагелю органічними реагентами

План заняття

1. Перевірка індивідуальних завдань та оцінювання
2. Приготування розчинів
3. Оформити результати досліджень у робочий журнал

Контрольні питання

1. З якою метою використовують різноманітні прийоми модифікації поверхні сорбентів?
2. Чим обумовлено інтерес щодо використання модифікованих високодисперсних кремнеземів у практиці тест-методів аналізу?
3. Наведіть структурну формулу 1-(2-пиридилазо)-2-нафтолу. Опишіть його фізичні і хімічні властивості.
4. У чому складаються особливості закріплення 1-(2-пиридилазо)-2-нафтолу на поверхні силікагелю? Вкажіть при яких саме умовах відбувається модифікування поверхні сорбенту.
5. Які іони здатні утворювати комплексні сполуки з 1-(2-пиридилазо)-2-нафтолом у розчині складу 1:2 при $pH \leq 4$. Наведіть ймовірні хімічні реакції.
6. Які іони здатні утворювати комплексні сполуки з 4-(2-пиридилазо)резорцином? Вкажіть умови взаємодії. Наведіть ймовірні хімічні реакції.
7. Наведіть структурну формулу 4-(2-пиридилазо)резорцину. Опишіть його фізичні і хімічні властивості.
8. Теорія методу кольорометрії. Її використання в тест-методах аналізу речовин.

Критерії оцінювання

№ заняття:	Кількість балів за кожен вид роботи	Вид роботи:										Сумарна кількість балів
		ТП	ДП	ПП	ПЗ	ОЗ	ТЗ	ІНДЗ	УО	...	...
9			10	20	20	15	10	15	10			100

ТП – відповідь на теоретичні питання; ДП – демонстрація підготовленої презентації; ПП – презентація/ повідомлення; ПЗ – виконання практичного завдання; ОЗ – оформлення заняття; ТЗ – виконання тестових завдань; ІНДЗ – перевірка індивідуальних завдань; УО – участь в обговоренні

Рекомендована література.

1. Циганок Л.П., Бубель Т.О., Вишнікін А.Б. та ін. Аналітична хімія. Хімічні методи аналізу: навчальний посібник - Дніпропетровськ: ДНУ ім. О.Гончара, 2014.- 252 с.
2. Пилипенко А.Т. Органічні реактиви в неорганічному аналізі. – К.: Вища школа, 1972. – 216 с.

Теоретичні відомості

Велике значення в аналітичній практиці мають методи концентрування і розділення іонів металів. Серед твердих матриць найбільший інтерес викликають

модифіковані високодисперсні кремнеземи, що обумовлено їх специфічними властивостями: високої швидкістю встановлення гетерогенної рівноваги, термодинамічною і хімічною стійкістю, селективністю вилучення іонів металів завдяки присутності комплексоутворюючих груп. Використання таких сорбентів дозволяє поєднувати операції концентрування і розділення досліджуваних речовин з їх наступним детектуванням безпосередньо у фазі сорбенту високочутливими спектроскопічними методами. Це дає можливість на кілька порядків знизити границю визначення досліджуваних компонентів, підвищити експресність і відкриває можливість для розробки візуально-кольорометричних тестів. У даній роботі, як приклад, розглянутий варіант модифікації силікагелю (SiO_2) 1-(2-піридилазо)-2-нафтолом (ПАН). З метою закріплення ПАН на поверхні силікагелю (СГ), використовується суміш розчинників – етиловий спирт та дистильована вода в співвідношенні 1:4. Рівновага в системі встановлюється на протязі 4 годин. Отриманий у такий спосіб сорбент зберігає свої аналітичні властивості тривалий час. Розташування й орієнтація молекул реагенту на поверхні силікагелю дозволяє утворювати комплекси з іонами металів складу 1:2. При $\text{pH} \leq 4$ комплекси такого складу з ПАН у розчині утворюють Ni(II) , Co(II, III) , Cu(II) .

Експериментальна частина

Реактиви та матеріали: дистильована вода; спиртовий розчин ПАН, 0,1% (у мірну колбу об'ємом 50 мл вносять 0,05 г ПАН і доводять до мітки 96% розчином спирту); суміш етилового спирту і дистильованої води в співвідношенні 1:4; силікагель; мірна колба об'ємом 100 мл; конічна колба об'ємом 100 мл; паперовий фільтр; скляна лійка.

Інструкція до виконання:

У конічну колбу вносять 50 мл 0,1% розчину ПАН, додають 5 г сорбенту, а потім 5 мл водно-спиртової суміші. Герметично закривають отриману суміш і періодично струшують протягом 60 хв. У процесі модифікації силікагель забарвлюється в жовтогарячий колір. Модифікований сорбент переносять на паперовий фільтр і висушують на повітрі ≈ 24 години або при 60°C протягом 1,5 год. Висушений сорбент зважують і розраховують вихід (у %). Зберігають у темних банках із притертою кришкою.

Лабораторне заняття № 10 (4 год)

Розділення суміші Ag^+ , Cu^{2+} , Hg^{2+} - йонів методом осадової хроматографії

Мета заняття. Засвоїти техніку розділення та виявлення катіонів методом колонкової осадової хроматографії

План заняття.

1. Підготовка хроматографічної колонки

2. Приготування розчинів
3. Розділення катіонів
4. Виявлення катіонів
5. Оформлення результатів досліду

Контрольні питання

1. Класифікація хроматографічних методів за агрегатним станом рухомої (і нерухомої) фази.
2. Класифікація хроматографічних методів за домінуючим механізмом процесу розділення.
3. Класифікація хроматографічних методів за методикою виконання розділення.
4. Класифікацію хроматографічних методів за метою проведення розділення (хроматографування).
5. В чому суть хроматографічного розділення за методом осадової хроматографії?
6. Розрахувати розчинність Ag_2O , $Cu(OH)_2$ та HgO за значеннями ДР.
7. Опишіть методику розділення і виявлення Ag^+ , Cu^{2+} , Hg^{2+} -іонів методом осадової хроматографії.
8. З яких конструктивних елементів складається хроматографічна система?
9. Що таке хроматографічна колонка? Що таке хроматограма?

Критерії оцінювання

№ заняття:	Кількість балів за кожен вид роботи	Вид роботи:										Сумарна кількість балів
		ТП	ДП	ПП	ПЗ	ОЗ	ТЗ	ІНДЗ	УО	...	...
10		10	10	20	20	15	15		10			100

ТП – відповідь на теоретичні питання; ДП – демонстрація підготовленої презентації; ПП – презентація/ повідомлення; ПЗ – виконання практичного завдання; ОЗ – оформлення заняття; ТЗ – виконання тестових завдань; ІНДЗ – перевірка індивідуальних завдань; УО – участь в обговоренні

Рекомендована література та інтернет-джерела

1. Мінаєва В.О. Методи концентрування неорганічних речовин. Навч-мет. посібник. – Черкаси: Вид. від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького. - 2014. – 313 с.
2. Антал І.П., Базель Я.Р., Кормош Ж.О. Методи розділення та концентрування речовин в аналізі. - Луцьк: Східноєвропейський нац.ун-т ім. Лесі Українки. - 2015. - 300 с.

Теоретичні відомості

Хроматографічний метод аналізу є найбільш універсальним серед методів розділення та визначення сумішей. Його широко використовують в хімічному аналізі та на виробництві. Хроматографію як метод розділення компонентів сумішей запропонував російський вчений-ботанік Михайло Семенович Цвет, який 1906 року описав цей метод і дав йому теоретичне обґрунтування. М.С.Цвет розділив компоненти хлорофілу на колонці, яка була заповнена кальцій карбонатом. Такий метод в подальшому назвали хроматографією (хромос - це колір). Особливістю

сучасних хроматографічних методів є багаторазове повторення актів сорбції-десорбції речовини, що досягається за рахунок великої поверхні розподілу фаз.

За механізмом розділення хроматографічні методи поділяють на:

- абсорбційну хроматографію, яка ґрунтується на розділенні речовин, які мають різну сорбційну здатність до твердих носіїв;
- розподільну хроматографію, яка ґрунтується на різниці в розчинності речовин в нерухомій фазі (газова хроматографія) або в рухомій та нерухомій фазах (рідинна хроматографія);
- іонообмінна хроматографія оснований на різній здатності речовин до іонного обміну на іонообмінних матеріалах;
- осадова хроматографія ґрунтується на утворенні осадів з сорбентом з різною розчинністю;
- інші.

За технікою, яку застосовують у хроматографії розрізняють:

- колоночну хроматографію, для розділення використовують спеціальні хроматографічні колонки;
- площинну, розподіл проводять на пластинах: паперу (паперова хроматографія) або в тонкому шарі сорбенту на твердому носії (тонкошарова хроматографія).

Експериментальна частина

Реактиви та обладнання: хроматографічна скляна колонка (8–10x0,5 см); алюміній оксид; піпетка; пробірка; аргентум нітрат, 0,1 М розчин; купрум(II) сульфат, 0,1 М розчин; меркурій(II) нітрат, 0,1 М розчин; натрій гідроксид, 1М розчин.

Інструкція до виконання:

Алюміній оксид поміщують в колонку на 1/2 її об'єму. Колонку промивають розчином лугу (піпеткою краплями вносять 1 мл 1М розчину NaOH). У пробірці в рівних об'ємах змішують розчини солей аргентум(I) нітрату, купрум(II) сульфату, меркурій(II) нітрату. В колонку піпеткою вносять приготовлену суміш катіонів. Розділення іонів проводиться у вигляді гідроксидів та оксидів. Яскраво забарвлені осад аргентум(I) оксиду (коричневого кольору), купрум(II) гідроксиду (блакитного кольору) та меркурій(II) оксиду (жовтого кольору) утворюють різнокольорові зони.

Розділення речовин відбувається за рахунок різної розчинності осадів Ag_2O , $\text{Cu}(\text{OH})_2$ та HgO . У верхній частини колонки осаджується меркурій(II) оксид, тому що він менш розчинний ($\text{ДР}(\text{HgO}) = 3,0 \cdot 10^{-26}$), нижче – купрум(II) гідроксид ($\text{ДР}(\text{Cu}(\text{OH})_2) = 2,2 \cdot 10^{-20}$), а в нижній – аргентум(I) оксид ($\text{ДР}(\text{Ag}_2\text{O}) = 1,6 \cdot 10^{-8}$).

Як тільки рівень розчину знизиться до рівня алюміній оксиду, в колонку додають 1 мл дистильованої води для кращого розділення зон. Після того, як елюент (вода) досягне кінця нерухомої фази (інертного носія алюміній оксиду), спостерігають утворення забарвлених зон. Отриману хроматограму спостерігають також на наступний день, тому що багато хроматограм змінюються з часом.

Зробіть висновок.

Лабораторне заняття № 11 (6 год)

Адсорбція оцтової кислоти на активованому вугіллі

Мета заняття. Дослідження адсорбційної здатності активованого вугілля (якісні реакції).

План заняття

1. Метод проектів та доповідей
2. Приготування розчинів
3. Вивчення сорбційних властивостей активованого вугілля

Завдання для самостійного вивчення:

1. Методи синтезу активованого вугілля.
2. Сировина для отримання активованого вугілля.
3. Способи модифікування активного вугілля. Які речовини називаються поверхнево-активними? Привести приклади. Використання ПАР.
4. Що таке поверхнева активність? Як пов'язана ця величина з адсорбцією?
5. Роль адсорбції в хімії, техніці, біологічних процесах.

Рекомендована література

1. Іваненко І.М., Донцова Т.А., Феденко Ю.М. Адсорбція, адсорбенти і каталізатори на їх основі.- Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 232 с.
2. Федорченко С. В. Хроматографічні методи аналізу. - Івано-Франківськ : Прикарп. нац. ун-т ім. В. Стефаника. - 2012. – 146 с.
3. Яцимирський В.К., Павленко В.О., Савченко І.О. та ін.. Хімія. Підручник. – К.: Ірпінь: Перун. - 2010 - 432 с.

Критерії оцінювання

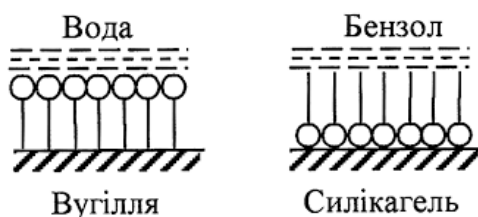
№ заняття:	Кількість балів за кожен вид роботи	Вид роботи:										Сумарна кількість балів
		ТП	ДП	ПП	ПЗ	ОЗ	ТЗ	ІНДЗ	УО	...	...
11		10	15	30	20	15	-	-	10			100

ТП – відповідь на теоретичні питання; ДП – демонстрація підготовленої презентації; ПП – презентація/ повідомлення; ПЗ – виконання практичного завдання; ОЗ – оформлення заняття; ТЗ – виконання тестових завдань; ІНДЗ – перевірка індивідуальних завдань; УО – участь в обговоренні

Теоретичні відомості

Адсорбція оцтової кислоти із водного розчину на активованому вугіллі відноситься до фізичної адсорбції. Адсорбція відбувається на активних адсорбційних центрах за рахунок електростатичної взаємодії атомів центрів з полярними молекулами СН₃СООН. Оскільки молекули оцтової кислоти дифільні,

то при утворенні адсорбційного шару вони орієнтуються гідрофобною (вуглеводневою) частиною молекули у бік водного розчину.



При адсорбції на гідрофільному адсорбенті з неполярного або малополярного розчинника поверхнево-активні речовини (ПАР) орієнтуються в адсорбційному шарі так, що полярна група звернена до адсорбенту, а неполярний вуглеводневий ланцюг – у бік розчинника. При адсорбції ПАР з

неполярного розчинника на гідрофобному адсорбенті молекули цієї речовини майже не набувають якої-небудь переважної орієнтації і погано адсорбуються своїми полярними групами у бік розчинника, а неполярними – у бік гідрофобного адсорбенту. Така орієнтація приводить до сильної адсорбції речовини. Для зменшення адсорбції розчинника при молекулярній адсорбції з водних розчинів звичайно застосовують гідрофобний адсорбент (наприклад: вугілля, тальк), а при адсорбції з неполярних розчинників – гідрофільний адсорбент (наприклад: силікагель, глина). Отже, адсорбція протікає краще, оскільки в результаті цього процесу зменшується відмінність в полярності адсорбенту і розчинника.

В результаті сорбції молекул оцтової кислоти на межі розподілу фаз запас надмірної вільної енергії знижується. Величина адсорбції залежить від природи адсорбтива, адсорбенту, а також від концентрації адсорбтива.

Величину адсорбції визначають об'ємним методом кількісного аналізу. Знаходять концентрацію CH_3COOH в розчині до (C_0) та після досягнення адсорбційної рівноваги (C_p) і розраховують величину адсорбції (A) за формулою: $\frac{(C_0 - C_p) \cdot V}{m}$, де V – об'єм розчину, в якому проводять адсорбцію; m – наважка сорбенту

Експериментальна частина

Реактиви: стандартний розчин оцтової кислоти 1 моль екв/л (1 л) ; розведені розчини оцтової кислоти різної концентрації: 0,04н, 0,05н, 0,1н, 0,2н, 0,4н; активоване вугілля; NaOH (титрант); спиртовий розчин фенолфталеїна; фільтрувальний папір; аналітичні терези з важками.

Посуд: 5 мірних колб (ємність 100 мл), піпетки Мора, 5 конічних колб (ємність 250 мл) з пробками; 5 лійок з фільтрами; 5 конічних колб (для збирання фільтрату); бюретка; мірні циліндри на 25 мл, 50 мл.

Інструкція до виконання

1. Приготування серії розчинів

Для вивчення адсорбції оцтової кислоти на активованому вугіллі з вихідного розчину (1 н) методом послідовного розведення приготувати по 100 мл розчинів оцтової кислоти наступних концентрацій: 0,04н, 0,05н, 0,1н, 0,2н, 0,4н. Це вихідні розчини для вивчення адсорбції (C_0). Для цього в мірні колби на 100 мл піпеткою Мора відміряти попередньо розраховані об'єми вихідного 1н розчину оцтової кислоти і довести вміст колби дистильованою водою до мітки.

№ колби	C _{станд. розчину,} МОЛЬ ЕКВ/Л	C ₀ , моль екв/л	Розведення (разів)	V _{станд. л н} розчину, МЛ
1	1	0,04	25	4
2	1	0,05	20	5
3	1	0,1	10	10
4	1	0,2	5	20
5	1	0,4	2,5	40

3. Стандартизація розчинів взятих для адсорбції

Для точного визначення початкової концентрації оцтової кислоти кожний з приготовлених розчинів відтитрувати 0,1 н розчином натрій гідроксиду в присутності фенолфталеїну. Для цього відібрати по 10 мл перших трьох розчинів і по 1 мл четвертого і п'ятого розчинів. Після титрування концентрацію кислоти розраховують за законом еквівалентів по формулі:

$$1. C_{CH_3COOH} = \frac{C_{NaOH} \cdot V_{NaOH}}{V_{CH_3COOH}} = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$2. C_{CH_3COOH} = \frac{C_{NaOH} \cdot V_{NaOH}}{V_{CH_3COOH}} = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$3. C_{CH_3COOH} = \frac{C_{NaOH} \cdot V_{NaOH}}{V_{CH_3COOH}} = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$4. C_{CH_3COOH} = \frac{C_{NaOH} \cdot V_{NaOH}}{V_{CH_3COOH}} = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$5. C_{CH_3COOH} = \frac{C_{NaOH} \cdot V_{NaOH}}{V_{CH_3COOH}} = \underline{\hspace{10cm}}$$

№ колби	Об'єм кислоти, МЛ	Об'єм луку, що пішов на титрування, мл				Концентрація луку Секв(NaOH), моль екв/л	C ₀ оцтової кислоти, Секв CH ₃ COOH, моль екв/л, точна концентрація
		1	2	3	V _{сер}		
1	10					0,1	
2	10					0,1	
3	10					0,1	
4	1					0,1	
5	1					0,1	

4. Процес сорбції на активованому вугіллі

У п'ять конічних колб з корками (місткістю 250 мл) влити по 25 мл кожного з вказаних вище розчинів. Колби пронумерувати. Зважити на аналітичних вагах по 1 г активованого вугілля і внести його в колби, закрити корками і збовтувати протягом 10 хв.

5. Стандартизація рівноважних розчинів

Розчини відфільтрувати, а в отриманому фільтраті визначити концентрацію кислоти кожного розчину, після досягнення адсорбційної рівноваги (C_p). Для титрування лугом з першого, другого та третього розчинів відібрати по 10 мл фільтрату, а з четвертого і п'ятого розчинів по 1 мл.

№	Об'єм кислоти, мл	Об'єм лугу, що пішов на титрування, мл				Концентрація лугу Секв(NaOH), моль екв/л	C _p оцтової кислоти, Секв CH ₃ COOH, моль екв/л
		1	2	3	V _{сер}		
1	10					0,1	
2	10					0,1	
3	10					0,1	
4	1					0,1	
5	1					0,1	

$$1. C_{CH_3COOH} = \frac{C_{NaOH} \cdot V_{NaOH}}{V_{CH_3COOH}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$2. C_{CH_3COOH} = \frac{C_{NaOH} \cdot V_{NaOH}}{V_{CH_3COOH}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$3. C_{CH_3COOH} = \frac{C_{NaOH} \cdot V_{NaOH}}{V_{CH_3COOH}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$4. C_{CH_3COOH} = \frac{C_{NaOH} \cdot V_{NaOH}}{V_{CH_3COOH}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$5. C_{CH_3COOH} = \frac{C_{NaOH} \cdot V_{NaOH}}{V_{CH_3COOH}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

6. Побудова ізотерми адсорбції

Для побудови ізотерми адсорбції розраховують сорбційну ємність активованого вугілля в кожній колбі. Кількість адсорбованої в кожній колбі оцтової кислоти розраховують за формулою у мілімолях оцтової кислоти на 1 г вугілля, (ммоль/ г):

$$1. A = \frac{(C_0 - C_p) \cdot V}{m} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$2. A = \frac{(C_0 - C_p) \cdot V}{m} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$3. A = \frac{(C_0 - C_p) \cdot V}{m} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$4. A = \frac{(C_0 - C_p) \cdot V}{m} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$5. A = \frac{(C_0 - C_p) \cdot V}{m} = \underline{\hspace{2cm}}$$

де V = 25 мл (0,25 л), m = 1 г.

Експериментальні та розрахункові дані

№	Початкова концентрація оцтової кислоти C ₀ , моль екв/л	Рівноважна концентрація оцтової кислоти C _p , моль екв/л		(C ₀ -C _p), ммольекв/л	A, ммоль/г
		моль екв/л	ммоль екв/л		

7. Графік ізотерми адсорбції будують на міліметровому папері в координатах $C_p(\text{ось } X)$ - $A(\text{ось } Y)$.

8. У висновку взяти максимальну сорбційну ємність досліджуваного сорбенту. Оформити лабораторну роботу із графіком.

Лабораторне заняття № 12 (2 год)

Модульна контрольна робота № 2. Способи одержання сорбційних матеріалів та застосування сорбційних методів в хімічному аналізі

Критерії оцінювання

№ заняття:	Кількість балів за кожен вид завдання	Вид завдання:			Сумарна кількість балів
		Теоретичні питання	задача	Індивідуальне завдання	
12		40	20	40	100

Завдання до модульної контрольної роботи

Теоретичні питання.

1. Хто і коли запропонував хроматографічний аналіз?
2. У чому полягає суть хроматографічного аналізу?
3. В якому агрегатному стані можуть перебувати нерухома й рухома фази, а також компоненти суміші, що аналізується?
4. За якими принципами класифікують хроматографічні методи?
5. Які різновиди хроматографічного аналізу належать до молекулярної хроматографії?
6. Які різновиди хроматографічного аналізу об'єднує іонообмінна хроматографія?
7. Назвіть основні етапи хроматографічного аналізу.
8. Які задачі вирішуються за допомогою хроматографічних методів?
9. Методи синтезу активованого вугілля.
10. Сировина для отримання активованого вугілля.
11. Способи модифікування активованого вугілля.
12. Способи одержання кремнеземних адсорбентів. Основні функціональні групи поверхні кремнеземів.
13. Класифікація методів розділення та концентрування.
15. Екстракція: основні поняття та терміни.
16. Поняття про сорбцію: основні поняття та терміни. Механізми здійснення хімічної та фізичної адсорбції
17. Класифікація мінеральних сорбентів та їх характеристики
18. Які реакції протікають на катіоніті?
 - $RAn + NaOH \leftrightarrow ROH + NaAn$
 - $RKt + NaI \leftrightarrow RNa + KtI$
 - $RAnH + NaCl \leftrightarrow RAnNa + HCl$
 - $ROH + NaBr \leftrightarrow RBr + NaOH$
19. Які реакції протікають на аніоніті?
 - $RAn + NaCl \leftrightarrow RCl + NaAn$

- $\text{RAnH} + \text{NaCl} \leftrightarrow \text{RAnNa} + \text{HCl}$
- $\text{RKt} + \text{NaCl} \leftrightarrow \text{RNa} + \text{KtCl}$
- $\text{RAnH} + \text{NaCl} \leftrightarrow \text{RHCl} + \text{NaAn}$

Індивідуальні завдання

1. Пройти курс на одній з освітніх платформ: Coursera, Prometheus, Moodle або іншій. Отримати сертифікат.

Задача

1. До 50,0 мл розчину $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ з молярною концентрацією еквівалента $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 0,05000 мольекв/л додали 3,000 г сухого катіоніту в H^+ -формі. Після встановлення рівноваги молярна концентрація еквівалента речовини $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ зменшилася до 0,003000 моль екв/л. Визначити статичну обмінну ємність катіоніту.
2. До 75,0 мл розчину $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ з молярною концентрацією еквівалента $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ 0,05000 мольекв /л додали 5,000 г сухого катіоніту в H^+ -формі. Після встановлення рівноваги молярна концентрація еквівалента речовини $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ зменшилась до 0,008000 мольекв/л. Визначити статичну обмінну ємність катіоніту.
3. Через колонку, яка заповнена катіонітом масою 10,00 г (в розрахунку на абсолютно сухий катіоніт) пропустили 250,0 мл розчину $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ з молярною концентрацією еквівалента речовини 0,08000 моль екв/л. Елюат збирали порціями по 50,0 мл. В кожній порції визначали вміст іонів Купруму титруванням розчином натрій тіосульфату з молярною концентрацією речовини $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,1000 моль екв/л і отримали наступні результати:

Порції розчину	1	2	3	4	5
$V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$, мл	0,0	12,0	25,0	40,0	40,0

Розрахувати повну динамічну обмінну ємність катіоніту.

4. Яка маса кобальту (II) залишиться в розчині об'ємом 1 л, якщо через колонку, яка заповнена 5,0 г катіоніту в H^+ -формі пропустили 200 мл розчину CoSO_4 з молярною концентрацією речовини еквівалента 0,05000 моль екв/л. Повна динамічна обмінна ємність катіоніту дорівнює 1,6 ммоль екв $\text{Co}^{2+}/\text{г}$.
5. Для визначення обмінної ємності катіоніту, що знаходиться в Ca^{2+} -формі, до наважки його масою 2,000 г додали 25,0 мл розчину натрій гідроксиду з молярною концентрацією речовини NaOH 0,1000 моль/л. На титрування залишку NaOH після встановлення рівноваги витрачено стандартний розчин хлоридної кислоти об'ємом 15,7 мл $C_{\text{екв}}(\text{HCl}) = 0,0800$ моль екв/л). Визначити статичну обмінну ємність катіоніту.
6. Яка маса іонів Ni^{2+} залишиться в розчині, якщо через колонку, яка містить 10,00 г катіоніту, пропустити 500 мл розчину солі Нікелю з молярною концентрацією еквівалента речовини 0,05000 моль екв/л. Повна динамічна обмінна ємність катіоніту в даних умовах дорівнює 1,4 ммоль екв $\text{Ni}^{2+}/\text{г}$.

7. Компонент має $D_s = 8,4$. Знайти V_R цього компонента на іонообмінній колонці, якщо $V_s = 1,5$ мл, $V_m = 1,5$ мл. Який час елюювання компонента до моменту досягнення його максимальної концентрації, якщо швидкість протікання елюента дорівнює 2,0 мл/хв?
8. Через колонку, яка заповнена катіонітом масою 5,000 г (в розрахунку на абсолютно сухий катіоніт) пропустили 500,0 мл розчину $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Елюат збирали порціями по 50,0 мл. В кожній порції визначали вміст іонів Купруму титруванням розчином натрій тіосульфату з молярною концентрацією речовини $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,02000 моль екв/л. Перші дві порції елюату не містили іонів Cu^{2+} . На титрування 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9 і 10 порцій витрачено відповідно 5,0; 12,0; 17,6; 20,0; 26,2; 30,5; 39,2 і 39,22 мл розчину натрій тіосульфату. Побудувати вихідну хроматограму в координатах: кількість речовини еквівалента Cu^{2+} (ммоль екв) в кожних 50 мл елюату – об'єм елюату (мл) та розрахувати ДОЄ і ПДОЄ катіоніту.
9. До 100,0 мл розчину цинк нітрату з молярною концентрацією речовини еквівалента $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 0,05000 моль екв/л додали 10,00 г сухого катіоніту в H^+ - формі. Після встановлення рівноваги молярна концентрація речовини еквівалента $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ зменшилась до 0,006000 моль екв/л . Визначити статичну обмінну ємність катіоніту.
10. Наважку зразку масою 2,000 г, що містить натрій нітрат і різні органічні речовини в молекулярній формі, розчинили в 100,0 мл води. 10,00 мл отриманого розчину пропускають через колонку, яка містить катіоніт в H^+ - формі. На титрування елюату витрачено стандартний розчин натрій гідроксиду об'ємом 15,00 мл $C_{\text{екв}}(\text{NaOH}) = 0,1110$ моль екв/л). Розрахувати масову частку натрій нітрату у зразку.

Рекомендована література

1. Іонний обмін та іонообмінна хроматографія / В. О. Мінаєва. – Черкаси: Вид. від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2013. – 128 с.

Список рекомендованої літератури

Основна:

1. Сабадаш В.В. Теоретичні основи сорбційних процесів на природних та синтетичних сорбентах. Львів. 2019. 472 с.
2. Адсорбція, адсорбенти і каталізатори на їх основі [Електронний ресурс] І.М. Іваненко, Т.А. Донцова, Ю.М. Феденко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 232 с.
3. Жданюк Н.В. Розробка сорбентів на основі модифікованих глин для захисту вод від неорганічних токсикантів. Рукопис. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ. Національний авіаційний університет, Київ, 2019.
4. Антал І.П., Базель Я.Р., Кормош Ж.О. Методи розділення та концентрування речовин в аналізі. Луцьк: Східноєвропейський нац.ун-т ім. Лесі Українки. 2015. 300 с.
5. Яцимирський В.К., Павленко В.О., Савченко І.О. та ін. Хімія. Підручник. К.: Ірпінь: Перун. 2010. 432 с.
6. Мінаєва В.О. Методи концентрування неорганічних речовин. Навч-мет. Посібник. Черкаси: Вид. від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького. 2014. 313 с.
7. Циганок Л.П., Бубель Т.О., Вишнікін А.Б., Вашкевич О.Ю. Аналітична хімія. Хімічні методи аналізу: навчальний посібник. Дніпропетровськ: ДНУ ім. О.Гончара. 2014. 252 с.
8. Чеботарьов О. М. Сорбційно-спектроскопічні та тест-методи в хімічному аналізі: методичні вказівки до лабораторних робіт. Одеса: «Одеський національний університет імені І. І. Мечникова». 2014. 55 с.

Додаткова:

8. Зайцев В.М., Савранський Л.І. Функціоналізовані пористі матеріали для аналітичної хімії. Київ:ВПЦ КНУ імені Тараса Шевченка, 2005. 202 с
9. Тьортих В. А., Беякова Л. А. Хімічні реакції за участю поверхні кремнезему. К.: Наук. Думка. 1991. 260 с.
10. Костенко Л.С., Зайцев В.М. Кремнеземи, функціоналізовані похідними амінофосфонові кислоти. Український хімічний журнал, 2009. Т. 75, № 10. С. 83-90.

Інтернет-ресурси:

1. <https://ecology.kpi.ua/wp-content/uploads/2018/12/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B5%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82-%D0%9C%D0%BE%D1%87%D0%BA%D0%BE%D1%88.pdf>
2. https://nung.edu.ua/files/attachments/sakalova_dysertacyya_s_dodatkami.pdf
3. https://studopedia.su/13_54084_sorbtsiynI-protsezi-I-yih-klasifikatsIya.html
https://studopedia.com.ua/1_16848_sorbtsiyni-protsezi-ih-klasifikatsiya-adsorbtsiya-na-mezhi-riznomanitnih-faz.html
5. https://lpnu.ua/sites/default/files/dissertation/2019/12954/dis_sabadash_1.pdf
6. <https://studfile.net/search/?q=%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B0>

Періодична система елементів Д.І. Менделєєва

1A	2A	Атомний номер										3A	4A	5A	6A	7A	8A																		
		<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Атомна маса</p> <p>Відносна атомна маса</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Символ</p> <p>Назва</p> <p>Електронні електрони</p> </div> </div>																																	
1H Гідроген 1,008 1s ¹		<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>75 Re</p> <p>Реній 186,21 5d⁵6s²</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Символ</p> <p>Назва</p> <p>Електронні електрони</p> </div> </div>																																	
3Li Літій 6,94 2s ²	4Be Берилій 9,0122 2s ²	Відносна атомна маса										5B Бор 10,81 2s ² 2p ¹	6C Карбон 12,011 2s ² 2p ²	7N Азот 14,007 2s ² 2p ³	8O Кисень 15,999 2s ² 2p ⁴	9F Флуор 18,998 2s ² 2p ⁵	10Ne Неон 20,18 2s ² 2p ⁶																		
11Na Натрій 22,990 3s ¹	12Mg Магній 24,305 3s ²	13Al Алюміній 26,982 3s ² 3p ¹	14Si Силіцій 28,085 3s ² 3p ²	15P Фосфор 30,974 3s ² 3p ³	16S Сульфур 32,06 3s ² 3p ⁴	17Cl Хлор 35,45 3s ² 3p ⁵	18Ar Аргон 39,948 3s ² 3p ⁶	19K Калій 39,098 4s ¹	20Ca Кальцій 40,078 4s ²	21Sc Скандій 44,956 3d ¹ 4s ²	22Ti Титан 47,867 3d ² 4s ²	23V Ванадій 50,942 3d ³ 4s ²	24Cr Хром 51,996 3d ⁵ 4s ¹	25Mn Манган 54,938 3d ⁵ 4s ²	26Fe Залізо 55,845 3d ⁶ 4s ²	27Co Кобальт 58,933 3d ⁷ 4s ²	28Ni Нікель 58,693 3d ⁸ 4s ²	29Cu Мідь 63,546 3d ¹⁰ 4s ¹	30Zn Цинк 65,38 3d ¹⁰ 4s ²	31Ga Галій 69,723 4s ² 4p ¹	32Ge Германій 72,63 4s ² 4p ²	33As Арсен 74,922 4s ² 4p ³	34Se Селен 78,96 4s ² 4p ⁴	35Br Бром 79,904 4s ² 4p ⁵	36Kr Криптон 83,798 4s ² 4p ⁶										
37Rb Рубідій 85,468 5s ¹	38Sr Стронцій 87,62 5s ²	39Y Йттрій 88,906 4d ¹ 5s ²	40Zr Цирконій 91,224 4d ² 5s ²	41Nb Ніобій 92,906 4d ⁴ 5s ¹	42Mo Молибден 95,94 4d ⁵ 5s ¹	43Tc Технецій [97,91] 4d ⁵ 5s ²	44Ru Рутеній 101,07 4d ⁷ 5s ¹	45Rh Родій 102,91 4d ⁸ 5s ¹	46Pd Паладій 106,42 4d ¹⁰	47Ag Срібло 107,87 4d ¹⁰ 5s ¹	48Cd Кадмій 112,41 4d ¹⁰ 5s ²	49In Індій 114,82 5s ² 5p ¹	50Sn Станум 118,71 5s ² 5p ²	51Sb Снігбій 121,76 5s ² 5p ³	52Te Телур 127,60 5s ² 5p ⁴	53I Йод 126,90 5s ² 5p ⁵	54Xe Ксенон 131,29 5s ² 5p ⁶	55Cs Цезій 132,91 6s ¹	56Ba Барій 137,33 6s ²	57La Лантан 138,91 5d ¹ 6s ²	72Hf Гафній 178,49 5d ² 6s ²	73Ta Тантал 183,84 5d ³ 6s ²	74W Вольфрам 183,84 5d ⁴ 6s ²	75Re Реній 186,21 5d ⁵ 6s ²	76Os Осній 192,22 5d ⁶ 6s ²	77Ir Іридій 192,22 5d ⁷ 6s ²	78Pt Платина 195,08 5d ⁹ 6s ¹	79Au Золото 196,97 5d ¹⁰ 6s ¹	80Hg Ртуть 200,59 5d ¹⁰ 6s ²	81Tl Талій 204,38 6s ² 6p ¹	82Pb Свинець 207,2 6s ² 6p ²	83Bi Висмут 208,98 6s ² 6p ³	84Po Полоній [208,98] 6s ² 6p ⁴	85At Астат [209,99] 6s ² 6p ⁵	86Rn Радон [222,02] 6s ² 6p ⁶
87Fr Францій [223,02] 7s ¹	88Ra Радій [226,03] 7s ²	89Ac Актиній [227,03] 6d ¹ 7s ²	104Rf Рейтер-фордій [261,12] 6d ⁴ 7s ²	105Db Дубній [268,13] 6d ⁵ 7s ²	106Sg Сібогій [271,13] 6d ⁶ 7s ²	107Bh Богій [277,15] 6d ⁷ 7s ²	108Hs Тасій [277,15] 6d ⁸ 7s ²	109Mt Майтнерій [276,15] 6d ⁹ 7s ²	110Ds Дармштадт-тій [281,16] 6d ¹⁰ 7s ¹	111Rg Рейтгерій [280,16] 6d ¹⁰ 7s ¹	112Cn Сюрентіум [285,17] 6d ¹⁰ 7s ²	113Nh Ніхолій [284,18] 7s ² 7p ¹	114Fl Флеровій [289,19] 7s ² 7p ²	115Mc Московій [288,19] 7s ² 7p ³	116Lv Лівертоніум [293] 7s ² 7p ⁴	117Ts Теннессіє [294] 7s ² 7p ⁵	118Og Оганссон [294] 7s ² 7p ⁶																		
Лантаноїди		58Ce Церій 140,12 4f ¹ 6s ²	59Pr Прозаксім 140,91 4f ² 6s ²	60Nd Неодим 144,24 4f ³ 6s ²	61Pm Прометій [145] 4f ⁵ 6s ²	62Sm Самарій 150,36 4f ⁶ 6s ²	63Eu Європій 151,96 4f ⁷ 6s ²	64Gd Гадоліній 157,25 4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	65Tb Тербій 158,93 4f ⁹ 6s ²	66Dy Диспроцій 162,50 4f ¹⁰ 6s ²	67Ho Толмій 164,93 4f ¹¹ 6s ²	68Er Ербій 167,26 4f ¹² 6s ²	69Tm Тулій 168,93 4f ¹³ 6s ²	70Yb Йттербій 173,04 4f ¹⁴ 6s ²	71Lu Лютецій 174,97 4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²																				
Актиноїди		90Th Торій 232,04 6d ² 7s ²	91Pa Протактиній 231,04 5f ¹ 6d ¹ 7s ²	92U Уран 238,03 5f ³ 6d ¹ 7s ²	93Np Нептуній [237,05] 5f ⁴ 6d ¹ 7s ²	94Pu Плутоній [244,06] 5f ⁶ 7s ²	95Am Америцій [243,06] 5f ⁷ 7s ²	96Cm Кюріт [247,07] 5f ⁷ 6d ¹ 7s ²	97Bk Беркелій [247,07] 5f ⁷ 7s ²	98Cf Каліфорній [251,08] 5f ¹⁰ 7s ²	99Es Ейнштейній [252,08] 5f ¹¹ 7s ²	100Fm Фермій [257,10] 5f ¹² 7s ²	101Md Менделєєвій [258,10] 5f ¹³ 7s ²	102No Нобелій [259,10] 5f ¹⁴ 7s ²	103Lr Лоренсцій [262,11] 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²																				

Навчальне видання

КИЧКИРУК Ольга Юріївна
КУСЯК Наталія Володимирівна
ВІЛЕНСЬКИЙ Володимир Олексійович

Сорбційні методи в хімічному аналізі

Інструктивно-методичні матеріали до лабораторних занять

Видання друге
(доповнене і перероблене)