

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова  
Хімічний факультет  
Кафедра аналітичної хімії

## Дипломна робота

### бакалавра

на тему: «Сорбційна спорідненість силікагелю, модифікованого  
кПАР до харчових барвників»

«Sorption affinity for silica modified by cationic surfactants to food dyes»

Виконала: студентка денної форми навчання  
напряму підготовки 6.040101 Хімія

**Чумак Надія Віталіївна**

Керівник: к. х. н., доц. Чеботарьов О. М. \_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент: к. х. н., доц. Захарія О.М.

Рекомендовано до захисту:  
протокол засідання кафедри  
№ 11 від 08 червня 2017 р.

Захищено на засіданні екзаменаційної комісії №\_\_  
протокол № \_\_\_\_ від «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 р.

Оцінка \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
(за національною шкалою, за шкалою ECTS, бал)

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ к. х. н., доц. Чеботарьов О. М.  
(підпис)

Голова екзаменаційної комісії

\_\_\_\_\_ д. х. н., проф. Ішков Ю.В.  
(підпис)

**Одеса – 2017**

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота виконана на кафедрі аналітичної хімії Одеського національного університету імені І.І. Мечникова і присвячена дослідженню особливостей сорбційного вилучення харчових барвників силікагелем модифікованим кПАР. Робота є частиною та логічним продовженням наукових досліджень, що проводяться за науковою темою № 145 «Обґрунтування вибору методів концентрування, розділення та визначення мікрокількостей речовин з близькими фізико-хімічними властивостями», ДР № 0115U001937.

Мета роботи: дослідити та оптимізувати умови сорбційного вилучення харчових барвників, а саме: Діамантового синього (E133), Патентованого синього (E131), Тартразину (E102) та Хінолінового жовтого (E104), силікагелем, модифікованим хлоридом цетилпіридинію.

В представленій роботі вивчено сорбцію ряду барвників силікагелем, модифікованим хлоридом цетилпіридинію. Встановлено, що сорбція має фізичний (Діамантовий синій, Патентований синій, Хіноліновий жовтий) та хімічний характер (Тартразин), а кількісне вилучення барвників досягається впродовж 15-30 хв. Встановлено, що кількісна десорбція відбувається в умовах руйнування поверхневих іонних асоціатів, а найкращим десорбентом є 0,001М розчин додецилсульфату натрію в 0,1М амоніаку. Коефіцієнти концентрування досліджуваних барвників коливаються в межах 1,80-4,95, а градувальні графіки лінійні в інтервалі концентрацій  $(0,25-3) \cdot 10^{-5}$  моль/л.

Можлива область застосування: вилучення і визначення мікрокількостей харчових барвників в харчових продуктах та фармацевтичних препаратах.

*Ключові слова:* діамантовий синій, патентований синій, тартразин, хіноліновий жовтий, силікагель, хлорид цетилпіридинію, сорбція, спектрофотометрія.

Дипломна робота складається з: 47 стор. машинописного тексту, 5 рис., 5 табл., 64 використаних джерел літератури, додатку.

## ЗМІСТ

	Стор.
<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	7
<b>1.1.</b> Загальні відомості про харчові барвники .....	7
<b>1.2.</b> Методи виділення та визначення барвників .....	8
<b>1.2.1.</b> <i>Електрохімічні методи визначення харчових барвників</i> .....	8
<b>1.2.2.</b> <i>Вольтамперометричні методи</i> .....	11
<b>1.2.3.</b> <i>Спектральні методи визначення барвників</i> .....	13
<b>1.2.4.</b> <i>Сенсори для визначення харчових барвників</i> .....	14
<b>1.2.5.</b> <i>Тест-методи</i> .....	16
<b>1.3.</b> Властивості поверхні простих і модифікованих кремнеземів та їх вплив на сорбцію.....	18
<b>РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА</b> .....	21
<b>2.1.</b> Застосовані реактиви, прилади, апаратура та об'єкти дослідження....	22
<b>2.2.</b> Методики проведення експерименту .....	23
<b>2.2.1.</b> <i>Методика модифікування силікагелю хлорид цетилпіридинієм</i>	23
<b>2.2.2.</b> <i>Побудова градувальник графіків для визначення барвників у розчинах</i> .....	24
<b>2.2.3.</b> <i>Дослідження впливу кислотності середовища на вилучення барвників модифікованим силікагелем</i> .....	24
<b>2.2.4.</b> <i>Оптимізація умов вилучення барвників модифікованими силікагелями із залученням планування експерименту за методом латинських квадратів</i> .....	25
<b>2.2.5.</b> <i>Методика побудови ізотерми сорбції барвників модифікованим силікагелем</i> .....	26
<b>2.2.6.</b> <i>Методика визначення термодинамічних параметрів сорбції барвників</i> .....	27
<b>2.2.7.</b> <i>Дослідження умов десорбції барвників з поверхні модифікованого силікагелю</i> .....	29

2.2.8. Побудова градувальник графіків для сорбційно-спектрофотометричного визначення харчових барвників .....	29
2.3. Результати та їх обговорення .....	30
2.3.1. Вплив кислотності середовища на сорбційне вилучення барвників.....	30
2.3.2. Сорбція барвників силікагелем, модифікованим хлоридом цетилпіридинію.....	31
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	39
<b>ЛІТЕРАТУРА</b> .....	40
<b>ДОДАТОК</b> .....	48

## ВСТУП

В даний час в суспільстві особливо гостро стоять питання захисту здоров'я людини від негативних наслідків науково-технічного прогресу. Забруднення продуктів харчування чужорідними хімічними речовинами, харчовими добавками, барвниками викликає порушення пристосувальних функцій організму, створює загрозу здоров'я людини, аж до розвитку серйозних захворювань.

Харчові добавки користуються величезним попитом у виробників харчової продукції, оскільки дозволяють використовувати менш якісні інгредієнти, за рахунок поліпшення хімічними речовинами смаку, аромату, зовнішньої привабливості та безпеки товарів [1, 2]. Сьогодні виробництво більшості харчових продуктів немислимо без внесення в рецептуру таких речовин, як харчові добавки, до яких відносяться синтетичні барвники.

Широке застосування синтетичних барвників, що з'явилися останнім часом завдяки досягненням хімії, пов'язане з їх високою стійкістю до змін рН середовища і дії кислот, стабільністю до нагрівання і світла, великою фарбувальною здатністю, легкістю дозування, стійкістю забарвлення при зберіганні продукту. У більшості випадків вони дешевше натуральних барвників [3].

На сьогоднішній день якості продуктів харчування світова спільнота приділяє серйозну увагу, про що свідчать видання спеціальних журналів: «Food Chemistry», «Харчова промисловість», «Що їмо» і ін., а також регулярне проведення конференцій.

Багато країн світу заборонили використання більшості синтетичних барвників в харчових продуктах і їх використання суворо регламентується при внутрішніх і експортних поставках продовольства. Регулюючі органи та харчові аналітики застосовують високочутливі і селективні методи аналізу для моніторингу, а також забезпечення якості та безпеки харчових продуктів.

Виходячи з вищевикладеного, метою роботи було дослідити та оптимізувати умови сорбційного вилучення харчових барвників, а саме Діамантового синього, Патентованого синього, Тартразину та Хінолінового жовтого, силікагелем, модифікованим хлоридом цетилпіридинію.

Були поставлені наступні задачі:

- вивчити вплив рН середовища, маси наважки сорбенту та часу контакту фаз на ефективність сорбційного вилучення барвників силікагелем, модифікованим хлоридом цетилпіридинію;
- побудувати ізотерми сорбції та розрахувати константи адсорбційної рівноваги та граничну адсорбції барвників;
- визначити основні термодинамічні характеристики сорбційного вилучення барвників силікагелем, модифікованим хлоридом цетилпіридинію;
- дослідити та оптимізувати умови десорбції барвників з поверхні модифікованого силікагелю.

## ВИСНОВКИ

1. Встановлено оптимальні умови сорбції барвників силікагелем, модифікованим хлоридом цетилпіридинію: для Діамантового синього оптимальне значення рН є 2, маса сорбенту – 0,3 г, час контакту фаз – 15 хв.; для Патентованого синього – рН=4, маса сорбенту – 0,16 г, час – 15 хв.; для Тартразину – рН=1,5, маса сорбенту – 0,4 г, час – 30 хв.; для Хінолінового жовтого – рН становить 2, маса сорбенту – 0,2 г, час контакту фаз – 15 хв.

2. Побудовано ізотерми сорбції, які відносять до Н-типу (Діамантовий синій та Тартразин) за класифікацією Джайлса і L-типу (Патентований синій Хіноліновий жовтий) та задовільно описуються рівнянням Ленгмюра. Розраховані константи адсорбційної рівноваги та граничу адсорбцію, які для Діамантового синього, Патентованого синього, Тартразину та Хінолінового жовтого відповідно складають  $3,54 \cdot 10^{-5}$ ;  $3,80 \cdot 10^{-5}$ ;  $13,93 \cdot 10^{-5}$ ;  $1,62 \cdot 10^{-5}$  та 5,98; 4,63; 2,04; 8,39 мкмоль/г. Величини граничної адсорбції збільшуються (а відповідні константи адсорбційної рівноваги зменшуються) в ряду Тартразин – Патентований синій – Діамантовий синій – Хіноліновий жовтий, що корелює з Ван дер Ваальсівськими площами барвників.

3. Теплові ефекти, які досягають -14,80 кДж/моль вказують на фізичну сорбцію у барвників: Діамантовий синій, Патентований синій, Хіноліновий жовтий взаємодію між адсорбтивом та поверхнею сорбенту, на відміну від Тартразину, у якого спостерігається хемосорбція ( $\Delta H > 0$ ), а величини вільної енергії Гіббса (-29,22 до -34,46) вказують на самочинний характер сорбції.

4. Встановлено, що кількісна десорбція відбувається в умовах руйнування поверхневих іонних асоціатів при використанні в якості десорбенту є 0,001М розчин додецилсульфату натрію в 0,1М амоніаку.

5. Визначені коефіцієнти концентрування які для досліджуваних барвників коливаються в межах 1,80-4,95. Побудовано градувальні графіки для сорбційно-спектрофотометричного визначення барвників, які лінійні в інтервалі концентрацій  $(0,25-3) \cdot 10^{-5}$  моль/л.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Смирнов Е. В. Пищевые красители / Е. В.Смирнов. – СПб.: Профессия, 2009. – 346 с.
2. Болотов В.М., Пищевые красители: классификация, свойства, анализ, применение / В.М. Болотов, А.П.Нечаев, Л.А. Сарафанова– СПб.: ГИОРД, – 2008. — 240 с.
3. Позняковский В.М. Пищевые и биологически активные добавки / В.М. Позняковский, А.Н. Австриевских, А.А. Вековцев. – Москва-Кемерово: Издательское объединение «Российские университеты», 2004. — 243 с.
4. Красители пищевые. Термины и определения: ГОСТ Р 52481 – 2010. – М.: Стандартинформ, 2011. – 12 с. – (Межгосударственный стандарт)
- 5.Сарафанова Л. А. Пищевые добавки: Энциклопедия / Л. А. Сарафанова, – СПб.: ГИОРД, 2004. – 808 с.
- 6.Бессонов В.В. Система контроля использования красителей при производстве пищевых продуктов в Российской Федерации. Порядок выбора объектов исследования / В.В. Бессонов // Вопросы питания. – 2010. – т. 76, №1. – С.59 – 65.
- 7.Bateman B. The effects of a double blind, placebo controlled, artificial food colourings and benzoate preservative challenge on hyperactivity in a general population sample of preschool children / B. Bateman, J. Warner , E. Hutchinso, T. Dean, P. Rowlandson, C. Gant , J. Grundy, C. Fitzgerald, J. Stevenson // Archives of Disease in Childhood. – 2004. – V.89. – №. 6. – P. 506-511.
8. McCann D. Food additives and hyperactive behaviour in 3- year-old and 8/9-year-old children in the community: a randomised, double- blinded, placebo-controlled trial / D. McCann, A. Barrett, A. Cooper, D. Crumpler, L. Dalen, K. Grimshaw, E. Kitchin, K. Lok, L. Porteous, E. Prince // The Lancet. – 2007.–V. 370. – № 9598. – P. 1560-1567.
- 9.Yamjala K. Methods for the analysis of azo dyes employed in food industry – a review / K. Yamjala, M. Nainar, N. Ramiseti // Food chemistry. – 2016. –192. – P. 813-824.

10. Kaur A. The review on spectrophotometric determination of synthetic food dyes and lakes / A. Kaur, U. Gupta // *Gazi University Journal of Science*. – 2012. – V. 25. – №. 3. – P. 579-588.
11. Golka K. Carcinogenicity of Azo Colorants: Influence of Solubility and Bioavailability – a review / K. Golka, S. Kopps, Z.W. Myslak // *Toxicology Letters*. – 2004. – 151. – P. 203-210.
12. Chung K. Azo Dye Reduction by Methanogenic Granular Sludge Exposed to Oxygen / K.Chung, C. Cerniglia // *Mutation Research*. – 1992. – 277. – P. 201–220.
13. Zhang W. Surface and simultaneous determination of Azorubin, Allura red and Ponceau 4R by differential pulse polarography: application to soft drinks / S. Combeau, M. Chatelut, O. Vittori // *Talanta*. – 2002. – V.56. – № 1. – P. 115-122.
14. Lopez-de-Alba L. Simultaneous determination of synthetic dyes Tartrazine, Allura Red and Sunset Yellow by differential pulse polarography and partial least squares. A Multivariate calibration method / L. Lopez-de-Alba, L. Lopez-Martinez, L. De-Leon-Rodriguez // *Electroanalysis*. – 2002. – V.14. – №. 3. – P. 197-205
15. Chanlon S. Determination of Carmoisine, Allura red and Ponceau 4R in sweets and soft drinks by differential pulse polarography / S. Chanlon, L. Joly-Pottuz, M.Chatelut, O. Vittori, L. Cretier // *Journal of Food Composition and Analysis*. – 2005. – V.18. – № 6. – P. 503-515.
16. Yang X. Simultaneous detection of Ponceat 4R and tartrazine in food using adsorptive stripping voltammetry on an acetylene black nanoparticle-modified electrode / X. Yang, H. Qin, M. Gao, H. Zhang // *J. Sci. Food. Agric*. – 2011. – 91. – P. 2821 – 2825.
17. Zhang Y. Multi-wall carbon nanotube film-based electrochemical sensor for rapid detection of Ponceau 4R and Allura Red / Y. Zhang, X. Zhang, X. Lu, J. Yang, K. Wu // *Food Chemistry*. – 2010. – V.122. – № 3. – P. 909-913.
18. Zhang W. Surface-enhanced oxidation and detection of Sunset Yellow and Tartrazine using multi-walled carbon nanotubes film-modified electrode / W. Zhang, T. Liu, X. Zheng, W. Huang, C. Wan // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. – 2009. – V.74. – № 1. – P. 28-31.

19. Zhao J. Electrochemical sensor for hazardous food colourant quinoline yellow based on carbon nanotube-modified electrode / J. Zhao, Y. Zhang, K. Wua, J. Chen, Y. Zhou // *Food Chemistry*. – 2011. – 128. – P. 569–572.
20. Ghoreishi S. Simultaneous determination of Sunset yellow and Tartrazine in soft drinks using gold nanoparticles carbon paste electrode / S. Ghoreishi, M. Behpour, M. Golestaneh // *Food Chemistry*. – 2012. – V. 132. – № 1. – P. 637-641.
21. Gan T., Sun J., Cao S., Gao F., Zhang Y., Yang Y. One-step electrochemical approach for the preparation of graphene wrapped phosphotungstic acid hybrid and its application for simultaneous determination of sunset yellow and tartrazine / T. Gan, J. Sun, S. Cao, F. Gao, Y. Zhang, Y. Yang // *Electrochimica Acta*. – 2012. – 74. – P. 151-157
22. Medeiros R. Simultaneous voltammetric determination of synthetic colorants in food using a cathodically pretreated boron-doped diamond electrode / R. Medeiros, B. Lourencao, R. Rocha-Filho, O. Fatibello-Filho // *Talanta*. – 2012. – 97. – P. 291-297.
23. Chen X. Highly sensitive electrochemical sensor for sunset yellow based on the enhancement effect of alumina microfibers / X. Chen, K. Wu, Y. Sun, X. Song // *Sensors and Actuators B: Chemical*. – 2013. – 185. – P. 582-586.
24. Zhao L. Preparation and application of sunset yellow imprinted ionic liquid polymer – ionic liquid functionalized graphene composite film coated glassy carbon electrodes / L. Zhao, F. Zhao, B. Zeng // *Electrochimica Acta*. – 2014. – V.115. – P. 247– 254.
25. Rouhani S. Novel PVC-based coated graphite electrode for selective determination of quinoline yellow / S. Rouhani, T. Haji-ghasemi // *J. Iran. Chem. Soc.* — 2009. — V.6. — № 4. —P. 679-685.
26. Rouhani S. Novel electrochemical sensor for Sunset Yellow based on a platinum wire-coated electrode / S. Rouhani // *Analytical Letters*. – 2009. – V.42. – №1. – P. 141-153.
27. Abu Shawish H. Development of novel potentiometric sensors for determination of tartrazine dye concentration in foodstuff products / H. Abu Shawish, N. Abu

- Ghalwa, S. Saadeh, H. El Harazeen // *Food Chemistry*. – 2013. – V.138. – № 1. – P. 126-132.
28. Gooding J. The mechanism of the electro-reduction of some azo dyes / J. Gooding, R. Compton, C. Brennan, J. Atherton // *Electroanalysis*. –1996. – 8. – P. 519–523.
29. Berzas Nevado J., Square wave adsorptive voltammetric determination of sunset yellow /J. Berzas Nevado, J.Rodríguez Flores, M. Villaseñor Llerena // *Talanta*. – 1997. – 44. – P. 467–474.
30. Benot C. Bismuth Film Electrode as an Alternative for Mercury Electrodes Determination of Azo Dyes and Application for Detection in Foo Stuffs / C. Benot, O.Vittori // *Electroanalysis*. – 2007. – 21. – P. 2243 – 2246.
31. Shucheng M. Voltammetric determination of indigo carmine and amaranth on a silver-based mercury film electrode / M. Shucheng, N. Jianmin, M. Hua, C. Lu // *Analytical Letters*. – 1992. – 25. – P. 899.
32. Karthik Y. Methods for the analysis of azo dyes employed in food industry – A review/ Y. Karthik, M. Nainar, N. Rao Ramiseti // *Food Chemistry*. – 2016. –192. – P. 813–824.
33. Medeiros R. Simultaneous voltammetric determination of synthetic colorants in food using a cathodically pretreated boron-doped diamond electrode / R. Medeiros, B. Lourencao, R. Rocha-Filho, O. Fatibello-Filhon // *Brazil Talanta*. – 2012. – 97. – P. 291–297.
34. Hong L. Determination of azo compounds by differential pulse voltammetry at a bismuth/poly(p-aminobenzene sulfonic acid) film electrode and application for detection in food stuffs / X. Ying Xie, L. Hong, N. Li // *Journal of Electroanalytical Chemistry*. – 2010. – 639. –P. 175–180.
35. Vallvey L. Determination of azo compounds by differential pulse voltammetry / L. Vallvey, M. Valencia, E. Nicolas // *Mikrochim. Acta*. – 2002. – 138. – P. 69.
36. Bruno G. Development and analytical validation of a simple multivariate calibration method using digital scanner images for sunset yellow determination in

soft beverages / G. Bruno Botelho, P. Luciana de Assis , M. Marcelo Sena // Food Chemistry. – 2014. – 159. – P. 175–180.

37. Luisa M. Voltammetric determination of food colorants using a polyallylamine modified tubular electrode in a multicommutated flow system / M. Luisa, M. Beatriz Q. Garcia, J. Lim , E. Barrado // Talanta. – 2007. – 72. – P. 282–288.

38. Lopez-de-Alba P. Extraction of sunset yellow and tartrazine by ion-pair formation with Adogen-464 and their simultaneous determination by bivariate calibration and derivative spectrophotometry / P. Lopez-de-Alba,

L. Lopez-Martinez , L. Michelini-Rodriguez, K. Wróbel, J. Amador-Hernández // Analyst. – 1997. – 122. – P. 1575–1579.

39. Nevado J. Resolution of ternary mixtures of Tartrazine, Sunset yellow and Ponceau 4R by derivative spectrophotometric ratio spectrum-zero crossing method in commercial foods / J. Nevado, R. Flores, G. Cabanillas, V. Llerena, C. Salcedo // Talanta. – 1998. – 46. – P. 933–942.

40. Vidotti E. Simultaneous determination of food dyes by first derivative spectrophotometry with sorption onto polyurethane foam / E. Vidotti, C. Cancino, C. Oliveira , M. Rollemberg // Analytical Sciences. – 2005. – V.21. – №. 2. – P. 149-153.

41. Yang Y. Quantitative analysis of fourteen synthetic dyes in jelly and gummy candy by ultra performance liquid chromatography / Y. Yang, J. Zhang, B. Shao // Analytical Methods. – 2014. – V.6. – №. 15. – P. 5872-5878.

42. Altino S. Determination of tartrazine and ponceau-4R in various food samples by Vierordt's method and ratio spectra first-order derivative UV spectrophotometry/ S.Altino , S. Toptanw // J. of Food Comp. and Anal. – 2002. – 15. – P. 667 –683.

43. Hofer K. Quick spectrophotometric identification of synthetic food colorants by linear regression analysis / K. Hofer, D. Jenewein // Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A. – 1997. – V.204. – №. 1. – P. 32-38.

44. Калач А.В. Сенсоры в анализе газов и жидкостей / А.В. Калач, А.Н. Зяблов, В.Ф. Селеменев. — Воронеж: ЛИО, 2011. — 240 с.

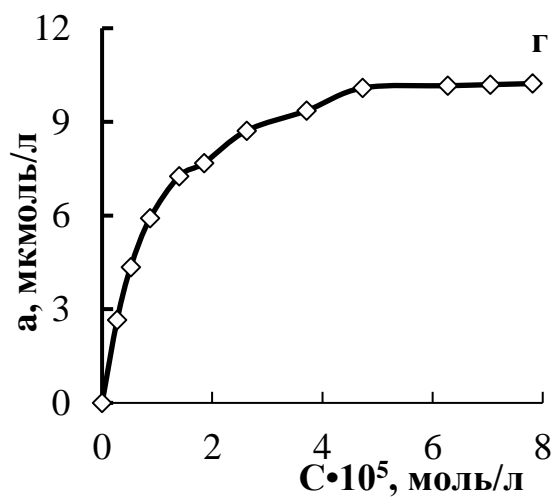
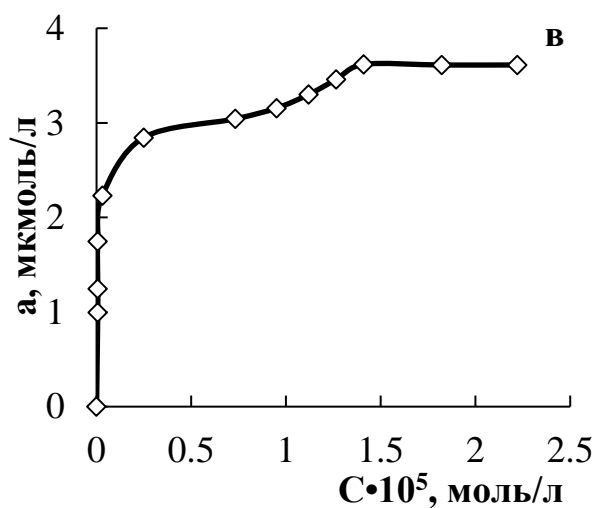
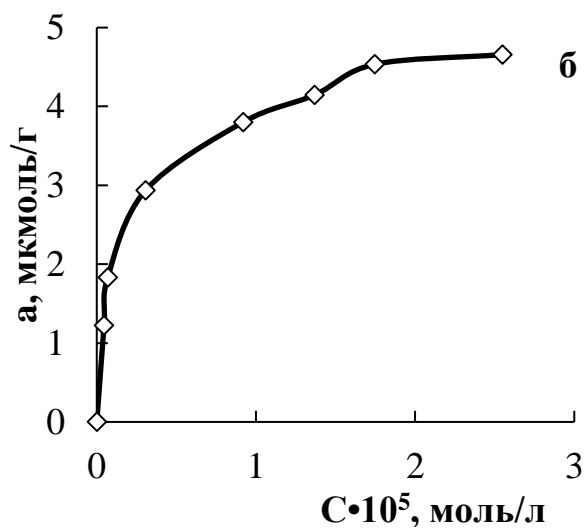
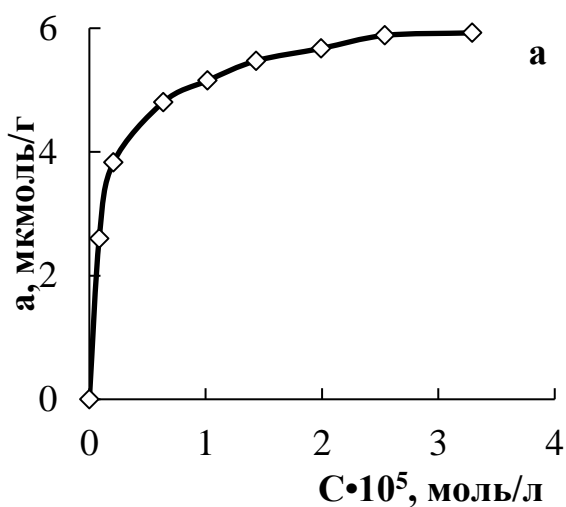
45. Эггинс Б. Химические и биологические сенсоры / Б. Эггинс. — М.: Техносфера, 2005.— 336 с.
46. Каттралл Р.В. Химические сенсоры / Р.В. Каттралл. — М : Научный мир, 2000. — С. 144.
47. Кривоносова Д. А. Количественное определение синтетических красителей пьезоэлектрическими сенсорами в безалкогольных напитках / Д. А. Кривоносова, О. В. Ражик, А. Н. Зяблов, С. А. Хальзова // ВЕСТНИК ВГУ. — 2016. — № 2. С. 38.
48. Пат. 138636 Пьезоэлектрический сенсор на основе молекулярно-импринтированного полимера для определения пальмитиновой кислоты / Зяблов А.Н., Дуванова О.В., Володина Л.В., Селеменев В.Ф., Дьяконова О.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО ВГУ. — № 2013144501/28; заявл. 03.10.2013; опубл.20.03.2014, Бюл. № 8.
49. Зяблов А.Н. Анализ морфологии поверхности молекулярно-импринтированных полимеров / А. Н. Зяблов // Сорбционные и хроматографические процессы. — 2008. — Т. 8, № 1. — С. 172 – 175.
50. Tian G. Multi-wall carbon nanotube-based electrochemical sensor for sensitive determination of Sudan I / G. Tian, L. Kai, W. Kangbing // Sensors and Actuators B. — 2008. — P. 134–139.
51. Nyanikova G. Test systems and a method for express detection of synthetic food dyes in drinks / G. Nyanikova S. Komissarchik // LWT - Food Science and Technology. — 2014. — P. 315–320.
52. Bruno G. Development and analytical validation of a simple multivariate calibration method using digital scanner images for sunset yellow determination in soft beverages / G. Bruno Botelho, P. Luciana de Assis , M. Marcelo Sena // Food Chemistry. — 2014. — P. 175–180.
53. Jack Momose K. Simultaneous modified barium swallow and blue dye tests: a determination of the accuracy of blue dye test aspiration findings / M. O’Neil-Pirozzi, Deborah J. Lisiecki, OTR/L,2 K. Jack Momose, Jennifer J. Connors, and Mary P. Milliner // Dysphagia. — 2003. — 18. — P. 32.

54. Luis Lopez-de-Alba P. Simultaneous determination of synthetic dyes tartrazine, allura red and sunset yellow by differential pulse polarography and partial least squares. A multivariate calibration method / P. Luis Lopez-de-Alba, L. Lopez-Martínez, L. Manuel De-Leo // *Electroanalysis*. – 2002, – V. 14. – №3. – P. 197-205.
55. Olsina R. *Methods in Chromatography* / R. Olsina, R. Dapas, C. Marone // *J.Chromatogr.* – 1973. – V. 75. – №1. – P. 1692.
56. Тетрых В. А. Химические реакции с участием поверхности кремнезёма / В.А. Тетрых, Л. А. Белякова. – Киев: Наукова думка, 1992. – 264 с.
57. Волхин В.В. Селективные неорганические сорбенты и их применение / В.В. Волохин. – Пермь: Наука, 1980. – 49 с.
58. Hanai T. In book *Methods in Chromatography* // Eds. T. Hanai, H. Hatano / *Advances in liquid chromatography*. – 1996. – 1. – P. 307.
59. Kucharska M., Grabka J. A review of chromatographic methods for determination of synthetic food dyes // *Talanta*. – 2010. – V. 80. – №. 3. – P. 1045-1051.
60. Пономарев В. Д. Аналитическая химия (в двух частях). / В.Д. Пономарев. – М.: Высш. школа, 1982. – 288 с.
61. Bevziuk K. Spectrophotometric and theoretical studies of the protonation of Allura Red AC and Ponceau 4R / K. Bevziuk, A. Chebotarev, D. Snigur, Y. Bazel, M. Fizer, V. Sidey // *Journal of Molecular Structure*. – 2017. – 1144. – P. 216–224.
62. Чеботарьов О. М. Кислотнo-основні та спектрофотометричні характеристики 5-гідрокси-1-(п-сульфофеніл)-4-[(п-сульфофеніл)-азо]-піразол-3-карбонової кислоти в розчинах / О.М. Чеботарьов, К.В. Бевзюк, Д.В. Снігур // *Укр. хім. журн.* – 2014. – Т. 80, № 6. – С. 79-84.
63. Чеботарев А. Н. Кислотнo-основные и цветометрические характеристики пищевого красителя желтый «солнечный закат» / А.Н. Чеботарёв, Е.В. Бевзюк, Н.М. Христова, Е.А. Столовник // *Вестник ОНУ. Серия «Химия»*. – 2014. – Т. 19, № 2. – С. 50-57.

64. Чеботарев А. Н. Ионно-молекулярные формы бриллиантового голубого FCF в растворах по данным спектрофотометрии / А.Н. Чеботарёв, Е.В. Бевзюк, Д.В. Снигур, Я.Р. Базель // Журнал физической химии. – 2017. –Т. 91, № 10. – С.1-6.

## ДОДАТОК

## Додаток А



Ізотерми адсорбції барвників силікагелем, модифікованим хлоридом цетилпіридинію при 317 К: а) Діамантовий синій, б) Патентований синій, в) Гартразин, г) Хіноліновий жовтий.