

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА
Факультет хімії та фармації
Кафедра аналітичної та токсикологічної хімії

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

«Атомно-абсорбційне визначення Ni(II) після міцелярно-екстракційного концентрування його диметилглюксимату»

«Atomic absorption determination of Ni(II) after cloud point extraction
preconcentration of its dimethylglyoximate»

Виконала: здобувачка денної форми навчання
спеціальності 102 Хімія

Освітня програма Хімія

Балан Віолетта Василівна

Керівник: к.х.н., доц. Денис СНИГУР _____
(підпис)

Рецензент: к.х.н., доц. Василь МЕНЧУК _____
(підпис)

Рекомендовано до захисту:
протокол засідання кафедри
аналітичної та токсикологічної хімії
№ ____ від ____ 2025 р.

Захищено на засіданні ЕК № _____
протокол № ____ від ____ 2025 р.
Оцінка _____ / _____ / _____
(за національною шкалою / за шкалою ECTS / бали)

Завідувачка кафедри
_____ к.х.н., доц. Тетяна ЩЕРБАКОВА
(підпис)

Голова ЕК
_____ д.х.н., проф. Ольга ШЕВЧЕНКО
(підпис)

Одеса – 2025

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційну роботу на здобуття ступеня вищої освіти «магістр» за спеціальністю 102 Хімія виконано на базі кафедри аналітичної та токсикологічної хімії Одеського національного університету імені І.І. Мечникова та спрямовано на дослідження умов міцелярно-екстракційного концентрування та атомно-абсорбційне визначення. Представлена кваліфікаційна робота є частиною досліджень, які провадяться за науково-дослідною темою № 620 "Нові "зелені" комбіновані спектроскопічні методи аналізу та їх аналітичне застосування". Номер державної реєстрації 0125U000871.

Мета роботи: оптимізація умов міцелярно-екстракційного вилучення Нікелю (II) та його подальше атомно-абсорбційне визначення у формі окисненого диметилглюксимату.

В результаті даної роботи оптимізовано умови утворення міцелярної фази тритону X-100 за кімнатної температури. Досліджено особливості вилучення Нікелю (II) в міцелярну фазу тритону X-100 у вигляді комплексу з диметилглюксимом. Встановлено основні хіміко-аналітичні характеристики розробленої методики. Запропонована методика атомно-абсорбційного визначення Нікелю (II) після міцелярно-екстракційного концентрування його диметилглюксимату. Розроблена методика є простою, чутливою та екологічно безпечною.

Можлива область застосування: концентрування та визначення мікрокількостей Нікелю(II) у водах різної природи.

Ключові слова: атомно-абсорбційне визначення, міцелярно-екстракційне концентрування, диметилглюксим, Ni(II).

Кваліфікаційна робота складається з: 50 стор. машинописного тексту, 5 рисунків, 5 таблиць та 65 використаних джерел літератури.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	6
1.1. Загальна характеристика нікелю.....	6
1.1.1. Фізико-хімічні властивості нікелю та його сполук.....	6
1.1.2. Джерела надходження нікелю у довкілля та харчові продукти...	7
1.1.3. Токсикологічне значення нікелю.....	9
1.2. Методи визначення нікелю.....	12
1.3. Поверхнево-активні речовини: властивості та застосування для міцелярно-екстракційного концентрування	17
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	19
2.1. Застосовані реактиви та апаратура	19
2.2. Методики проведення експерименту	20
2.2.1. <i>Методика встановлення оптимального рН</i>	20
2.2.2. <i>Вплив концентрації Тритону X-100 на утворення міцелярної фази..</i>	21
2.2.3. <i>Вплив концентрації реагенту на повноту вилучення Ni(II).....</i>	22
2.2.4. <i>Методика встановлення оптимальної концентрації N,N- дифенілгуанідину гідрохлориду</i>	22
2.2.5. <i>Методика встановлення оптимальної концентрації висолювача.</i>	23
2.2.6. <i>Методика побудови градуювального графіку для атомно- абсорбційного визначення Ni(II)</i>	24
2.3. <i>Результати та їх обговорення</i>	24
2.3.1. <i>Оптимізація умов міцелярно-екстракційного вилучення Ni(II)..</i>	24
2.3.2. <i>Аналітичні характеристики та практичне застосування розробленої методики</i>	33
ВИСНОВКИ	38
ЛІТЕРАТУРА	39
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Стрімкий розвиток науки, медицини, культури, обробної та хімічної промисловості, а також активне впровадження нових технологічних процесів супроводжуються зростанням техногенного навантаження на довкілля [1]. Інтенсивність виробничої діяльності призводить до забруднення атмосферного повітря та водних ресурсів, деградації ґрунтів і порушення функціонування екосистем. За цих умов постає потреба у створенні комплексних систем екологічного моніторингу, здатних своєчасно виявляти небезпечні рівні забруднювачів і запобігати екологічним кризам.

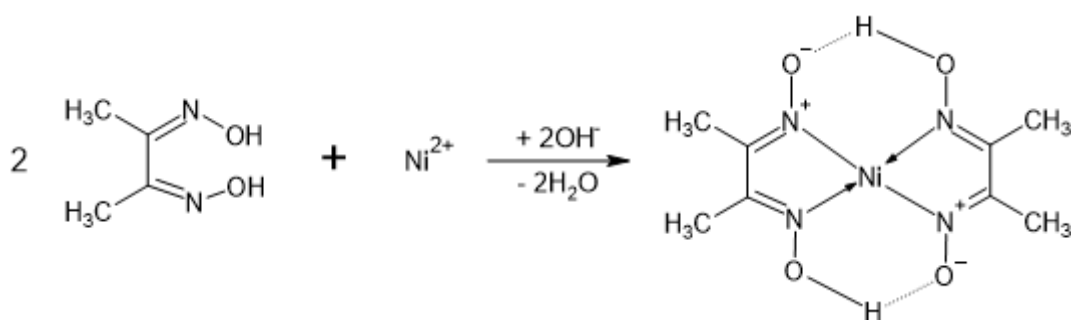
Серед численних токсикантів, що циркулюють у навколишньому середовищі, особливу увагу привертають йони нікелю. Цей елемент широко застосовується в металургії, машинобудуванні, електротехнічних процесах, хімічних та медичних технологіях, а також потрапляє до організму людини переважно з харчовими продуктами [2]. Водночас нікель належить до токсичних і потенційно канцерогенних елементів, що зумовлює необхідність точного контролю його вмісту у природних, харчових та біологічних матрицях [3].

Аналітичне визначення Ni(II) у слідових концентраціях є складним завданням через низький вміст елемента та значний вплив матричних компонентів. Це потребує застосування високочутливих методів аналізу у поєднанні з процедурами попереднього розділення та концентрування аналіту. У цьому контексті актуальним є впровадження сучасних екологічно безпечних підходів, які забезпечують достатню чутливість і селективність без використання токсичних органічних розчинників.

Одним із таких підходів є міцелярно-екстракційне концентрування, засноване на здатності неіоногенних поверхнево-активних речовин утворювати міцели у водних середовищах. Утворення двох фаз: ПАР-збагаченої та водної, що дає змогу ефективно вилучати та концентрувати йони

металів. Цей метод поєднує доступність, технологічну простоту, високу ефективність та екологічну безпечність, що робить його перспективним інструментом під час пробопідготовки перед атомно-абсорбційним визначенням металів.

У даній роботі досліджено процес міцелярно-екстракційного концентрування Ni(II) після утворення його хелатного комплексу з диметилглюксимом (DMG):



Таким чином, метою даної роботи є оптимізація умов міцелярно-екстракційного вилучення диметилглюксимату Нікелю(II) та його визначення методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

1. Оптимізувати умови утворення міцелярної фази тритону X-100 за кімнатної температури;
2. Дослідити особливості вилучення Нікелю (II) в міцелярну фазу тритону X-100 у вигляді комплексу з диметилглюксимом;
3. Встановити основні хіміко-аналітичні характеристики розробленої методики.
4. Апробувати розроблену комбіновану методику при визначенні Нікелю (II) у водах різних категорій.

ВИСНОВКИ

1. Досліджено процес міцелярно-екстракційного концентрування Нікелю(II) в хімічно-індуковану міцелярну фазу Тритону X-100. Показано, що введення 0,033 моль/л гідрохлориду ДФГ суттєво знижує температуру помутніння та призводить до утворення міцелярної фази вже за кімнатної температури. Розшарування фаз відбувається при центрифугуванні при 2000 об./хв впродовж 7-10 хв.
2. Встановлено оптимальні умови утворення міцелярної фази та вилучення комплексу Нікелю(II) з диметилгліоксимом: рН 10,5-11,5; 2,0 об.% тритону X-100; 0,08 об.% ДМГ; 0,033 моль/л гідрохлориду ДМГ та 0,4 моль/л сульфату натрію. Вимірювання атомного поглинання проводять в окислювальному полум'ї ацетилен-повітря на резонансній лінії 232,0 нм при ширині щілині монохроматора 0,2 нм.
3. Обчислені основні аналітичні характеристики методики та встановлено, що градуювальний графік лінійний в інтервалі концентрацій 1.6-1600 мкг/л, а межі виявлення та визначення відповідно складають 0.48 та 1.6 мкг/л.
4. Запропоновану методику атомно-абсорбційного визначення Нікелю(II) після його міцелярно-екстракційного концентрування апробовано при аналізі модельних розчинів та зразків вод різних категорій. Відносна похибка визначення не перевищує 5%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Rakhmatullaeva, Nargiza & Giyasov, Anvar & Aliev, Sunnat & Obloberdiev, Sarvar & Bakhtiyorov, Oybek & Kholov, Muhiddin & Ergashev, Yorqinjon & Turabdjanov, Sadritdin. (2024). Extracting photometric determination of antimony with 5-pyridylazo-2-monoethylaminoparacresol (PAAC). E3S Web of Conferences. 497. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202449703040>
2. Nurmukhammat, Turabov & Todjiyev, Jamoliddin & Razzoqova, Surayyo & Nazirov, Shohjohon & Bexruz, Tuliyeu. (2021). Development of spectrophotometry methods for the determination of copper (II) Ions by new azo reagent based on Pyridine. Asian Journal of Multidimensional Research, 10, pp. 106-113. <https://doi.org/10.5958/2278-4853.2021.00207.X>
3. Gates A, Jakubowski JA, Regina AC. Nickel toxicology. StatPearls. Treasure Island: StatPearls Publishing. 2023. PMID: 37276284.
4. Kondev, F. G.; Wang, M.; Huang, W. J.; Naimi, S.; Audi, G. (2021). The NUBASE2020 evaluation of nuclear properties. Chinese Physics C. 45 (3) 030001. <https://doi.org/10.1088/1674-1137/abddae>
5. Bide T., Hetherington L., Gunn G. Nickel—Mineral profile: British Geological Survey. – technical report, 2008.
6. Tundermann, John & Tien, John & Howson, Timothy. (2005). Nickel and Nickel Alloys. <https://doi.org/10.1002/0471238961.1409031120211404.a01.pub2>.
7. Greenwood, Norman N.; Earnshaw, Alan (1997). Chemistry of the Elements (2nd ed.), Butterworth-Heinemann. pp. 1144-1172. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-30414-6>
8. Cotton and Wilkinson (1966). Advanced Inorganic Chemistry: A Comprehensive Treatise. John Wiley & Sons. pp. 835-854.
9. Г. Кульчицька, Д. Черниш, Л. Сетая. Українська номенклатура мінералів / відп. ред. О. Пономаренко. — К. : Академперіодика, 2022. — С. 62.
10. Begum, Wasefa & Rai, Summi & Banerjee, Soujanya & Bhattacharjee, Sudip & Mondal, Monohar & Bhattarai, Ajaya & Saha, Bidyut. (2022). A comprehensive

- review on the sources, essentiality and toxicological profile of nickel. *RSC Advances*, 12. Pp. 9139-9153. <https://doi.org/10.1039/d2ra00378c>.
11. Cempel, M. & Nikel, G.. (2006). Nickel: A Review of Its Sources and Environmental Toxicology. *Polish Journal of Environmental Studies*. 15(3). Pp. 375-382.
 12. Levicka, Jana & Orlikova, Monika. (2024). The Toxic Legacy of Nickel Production and Its Impact on Environmental Health: A Case Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 21(12). 1641. [10.3390/ijerph21121641](https://doi.org/10.3390/ijerph21121641). 21(12), 1641. <https://doi.org/10.3390/ijerph21121641>
 13. Das KK, Reddy R, Bagoji IB, et al. (2018) Primary concept of nickel toxicity – an overview. *J Basic Clin Physiol Physiol Pharmacol*. 30(2). pp. 141–152. <https://doi.org/10.1515/jbcpp-2017-0171>
 14. Outridge, P.M.; Scheuhammer, A.M. (1993). Bioaccumulation and toxicology of nickel: Implications for wild mammals and birds. *Environ. Rev.* 1, pp. 172–197.
 15. Yu H., Li W., Liu X., Song Q., LibJ., and Xu J. (2024). Physiological and molecular bases of the nickel toxicity responses in tomato. *Stress Biol.* 4. 25. <https://doi.org/10.1007/s44154-024-00162-0>
 16. Genchi G, Carocci A, Lauria G, Sinicropi MS, Catalano A. Nickel: Human Health and Environmental Toxicology. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 Jan 21;17(3):679. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030679>.
 17. Mania, Monika & Rebeniak, Małgorzata & Postupolski, Jacek. (2019). Food as a source of exposure to nickel. *Roczniki Panstwowego Zakladu Higieny*. 70(4). Pp. 393-399. <https://doi.org/10.32394/rpzh.2019.0090>.
 18. Guillem Garcia-Llorens, Meryem El Ouardi, Victoria Valls-Belles (2025). Oxidative Stress Fundamentals: Unraveling the Pathophysiological Role of Redox Imbalance in Non-Communicable Diseases. *Appl. Sci.*, 15(18), 10191; <https://doi.org/10.3390/app151810191>

19. International Agency for Research on Cancer (IARC). Chromium, nickel and welding. Lyon: IARC; 1990. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, vol 49. Pp. 257–445.
20. International Agency for Research on Cancer (IARC). A Review of Human Carcinogens. Part C: Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts. Lyon: IARC; 2012. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, vol 100. pp. 169–218.
21. Про затвердження державних медико-санітарних нормативів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць. МОЗ України; Наказ, Нормативи від 10.05.2024 № 813
22. Про затвердження Гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті. МОЗ України; Наказ, Регламент від 14.07.2020 № 1595
23. Про затвердження Гігієнічних нормативів якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення. МОЗ України; Наказ, Нормативи, Форма типового документа, Норми від 02.05.2022 № 721
24. Tânia C.F. Ribas, Raquel B.R. Mesquita, António O.S.S. Rangel. (2022). Use of dimethylglyoxime for the spectrophotometric flow-based determination of nickel in natural waters. *Talanta Open*. 6, 100132. <https://doi.org/10.1016/j.talo.2022.100132>
25. Hashemi-Moghaddam, Hamid. (2011). A Selective Flotation-Spectrophotometric Method for the Determination of Nickel using Dimethylglyoxime. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 22. Pp. 1056–1060. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532011000600008>.
26. D.B. Gazda, J.S. Fritz, M.D. Porter. (2004) Determination of nickel (II) as the nickel dimethylglyoxime complex using colorimetric solid phase extraction. *Anal. Chim. Acta*, 508, pp. 53-59. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2003.11.044>
27. F. Bruce-Smith, Boris A. Zakharov, Jernej Stare, Elena V. Boldyreva, and Colin R. Pulham. (2014). Structural Properties of Nickel Dimethylglyoxime at High Pressure: Single-Crystal X-ray Diffraction and DFT Studies I *The Journal of*

- Physical Chemistry C. 118 (42), 24705-24713.
<https://doi.org/10.1021/jp508939g>
28. Tetsu KUMAGAI, Katsuya UESUGI. (1982). Gravimetric determination of nickel with 2-hydroxy-1-naphthaldoxime. *JOURNAL FREE ACCESS*. 31(5). Pp. 271-275
29. Ombaka, Ochieng. (2019). Complexometric determination of Nickel (II) in its synthetic alloys using selected Hydroxytriazene as Metallochromic indicator. *International Journal of Development and Sustainability*. 8(9). Pp. 627-637.
30. Ismail, Irfan & Budiman, Septian & Putri, Anisa & Aprilianti, Cindy & Aulia, Nurul & Fatmawati, Rani & Husein, Saddam & Insani, Munadia. (2024). Precision in Practice: Comparative Analysis of Gravimetric and Volumetric Methods for Nickel(II) Chloride Quantification. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12787271>.
31. Godja, N., Assadollahi, S., Hütter, M., Mehrabi, P., Khajehmeymandi, N., Schalkhammer, T., & Munteanu, F.-D. (2025). Flexible Screen-Printed Gold Electrode Array on Polyimide/PET for Nickel(II) Electrochemistry and Sensing. *Sensors*, 25(13), 3959. <https://doi.org/10.3390/s25133959>
32. Padilla, V., Serrano, N., & Díaz-Cruz, J. M. (2021). Determination of Trace Levels of Nickel(II) by Adsorptive Stripping Voltammetry Using a Disposable and Low-Cost Carbon Screen-Printed Electrode. *Chemosensors*, 9(5), 94. <https://doi.org/10.3390/chemosensors9050094>
33. Pokpas, K., Jahed, N., Baker, P. G., & Iwuoha, E. I. (2017). Complexation-Based Detection of Nickel(II) at a Graphene-Chelate Probe in the Presence of Cobalt and Zinc by Adsorptive Stripping Voltammetry. *Sensors*, 17(8), 1711. <https://doi.org/10.3390/s17081711>
34. Zhang, Weiye & Ye, Siqing & Diao, Yuhua & Deng, Xiujun & Li, Weili & He, Hongxing & Liu, Qian & Hu, Guangzhi. (2024). Magnetic multi-walled carbon nanotubes modified with surface-imprinted polymers for ultrasensitive electrochemical detection of trace-level nickel ions in groundwater. *Materials Today Chemistry*. 35. <https://doi.org/101863>. 10.1016/j.mtchem.2023.101863.

35. Kailasam, Vijayalakshmi & Sankararajan, Radha & Muthumeenakshi, K. & B S, Sreeja. (2023). Electrochemical sensing of nickel using modified silver nanoparticles/bismuth oxybromide graphite electrode. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 34. <https://doi.org/10.1007/s10854-023-11130-1>.
36. Kamnoet, Pornphimon & Aeungmaitrepirom, Wanlapa & Menger, Ruth & Henry, Charles. (2021). Highly selective simultaneous Cu(II), Co(II), Ni(II), Hg(II), Mn(II) determination in water samples on microfluidic paper-based analytical devices. *The Analyst*. 146. <https://doi.org/10.1039/D0AN02200D>.
37. Abbas, Esraa & Kadhim, Salih & Al-Da'amy, Muneer. (2013). Determination of Ni(II) in Alloy by Spectrophotometric Method with a new Chromogenic Reagent (IDPBS). *International Journal of Pharmaceutical Quality Assurance*. 11. 20-22. <https://doi.org/10.25258/ijpqa.11.1.14>.
38. Rao, M. & Khan, P. & Reddy, P. (2015). Spectrophotometric determination of nickel (II) with 2-aminoacetophenone isonicotinoylhydrazone. *Der Pharmacia Lettre*. 7. 281-286.
39. Anthemidis, A. N., Zachariadis, G. A., & Stratis, J. A. (2010). On-line preconcentration and determination of nickel and zinc in natural water samples by flow injection–flame atomic absorption spectrometry using PTFE-turnings for column packing. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 90(2), 127–136. <https://doi.org/10.1080/03067310902741625>
40. Han, Q.; Huo, Y.; Yang, L.; Yang, X.; He, Y.; Wu, J.(2018). Determination of Trace Nickel in Water Samples by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry after Mixed Micelle-Mediated Cloud Point Extraction. *Molecules*. 23, 2597. <https://doi.org/10.3390/molecules23102597>
41. Efe, Elem & Imamoglu, Mustafa. (2024). Solid-phase extraction (SPE) of Ni(II), Cd(II) and Pb(II) ions using pyromellitic dianhydride functionalized silica gel prior to flame atomic absorption spectrometric determination. *Desalination and Water Treatment*. 317. 100158. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100158>.

42. Alexander D, Rohman A. (2019). Analytical method validation of ICP-AES for analysis of cadmium, chromium, cuprum, manganese and nickel in milk. *International Journal of Applied Pharmaceutics*. 341-344. <https://doi.org/10.22159/ijap.2019v11i4.29503>.
43. Yunes, N., Moyano, S., Cerutti, S., Gásquez, J. A., & Martinez, L. D. (2003). On-line preconcentration and determination of nickel in natural water samples by flow injection-inductively coupled plasma optical emission spectrometry (FI-ICP-OES). *Talanta*, 59(5), 943–949. [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(02\)00639-2](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(02)00639-2)
44. Šoukal, Jakub & Musil, Stanislav. (2022). Detailed evaluation of conditions of photochemical vapor generation for sensitive determination of nickel in water samples by ICP-MS detection. *Microchemical Journal*. 172. 106963. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.106963>.
45. Schuh, Claudia & Brock, Thomas & Hebisch, Ralph & Hartwig, Andrea & Commission, MAK. (2022). Nickel – Method for the determination of nickel and its compounds in workplace air using graphite furnace atomic absorption spectrometry (GF-AAS) after high-pressure microwave digestion. *Air Monitoring Method*. 7. Doc084. https://doi.org/10.34865/am744002e7_4or
46. Nasiriddinovich, T. Jamoliddin, Turabov, N., Xusanov, B. Mengdovulovich, Turaeva, G. Suyunovna, Lakaev, S. Saidakhmadovich, Razzoqova, S. Razzoqovna, Sagdillayeva, Z. Asanaliyevna, Yuldasheva, U. Asanaliyevna, Muhammedova, B. Ibragimovna and Yunusov, K. Ergashovich (2024). Determination of Ni(II) Ions in Natural Objects and Industrial Alloys via a Spectrophotometric Method with 4,5-Dihydroxy-3,6-Dinitrosonaphthalene-2,7-disulfoxic Acid. *Chemical Review and Letters*, 7(5), 895-911. <https://doi.org/10.22034/crl.2024.472110.1397>
47. Weldeabzgi, A., Reddy, D. N., & Mekonnen, K. N. (2017). Spectrophotometric Determination of Nickel (II) in Soil and Standard Alloy Samples Using 5-Methyl-2-acetylfuran-4-methyl-3-thiosemicarbazone (5-MAFMT).

- Communications in soil science and plant analysis, 48(4), 439-448.
<https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1269797>
48. Elaheh Khazaeli, Hedayat Haddadi, Behrooz Zargar, Amir Hatamie, Abolfazl Semnani. (2017). Ni(II) analysis in food and environmental samples by liquid-liquid microextraction combined with electro-thermal atomic absorption spectrometry, *Microchemical Journal*, 133, 311-319, <https://doi.org/10.1016/j.microc.2017.03.054>.
49. Büyükpınar Ç, Yazıcı E, San N, Komesli OT, Bakırdere S. (2021). Determination of nickel in daphne tea extract and lake water samples by flame atomic absorption spectrophotometry with a zirconium-coated T-shaped slotted quartz tube-atom trap and photochemical vapor generation sample introduction. *Environ Monit* 193(10):627. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09430-2>.
50. Martín-Cameán, A., Jos, A., Puerto, M., Calleja, A., Iglesias-Linares, A., Solano, E., & Cameán, A. M. (2015). In vivo determination of aluminum, cobalt, chromium, copper, nickel, titanium and vanadium in oral mucosa cells from orthodontic patients with mini-implants by Inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). *Journal of trace elements in medicine and biology : organ of the Society for Minerals and Trace Elements (GMS)*, 32, 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2015.05.001>
51. Adolfo, F. R., do Nascimento, P. C., Leal, G. C., Bohrer, D., Viana, C., de Carvalho, L. M., & Colim, A. N. (2019). Simultaneous determination of iron and nickel as contaminants in multiminerals and multivitamin supplements by solid sampling HR-CS GF AAS. *Talanta*, 195, 745–751. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.12.010>
52. Ozbek, N., & Akman, S. (2016). Determination of lead, cadmium and nickel in hennas and other hair dyes sold in Turkey. *Regulatory toxicology and pharmacology : RTP*, 79, 49–53. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2016.05.013>
53. Karimi, M., Dadfarnia, S., & Shabani, A. M. (2017). Application of Deep Eutectic Solvent Modified Cotton as a Sorbent for Online Solid-Phase Extraction and Determination of Trace Amounts of Copper and Nickel in Water

- and Biological Samples. *Biological trace element research*, 176(1), 207–215.
<https://doi.org/10.1007/s12011-016-0814-0>
54. TOKAY, Feyzullah. (2017). Development of UV-Vis Spectrophotometric Method for Rapid Nickel Determination in Original Oil Matrix. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 21. 10.
<https://doi.org/10.19113/sdufbed.67183>.
55. Li, Kai & Xi, Wu & Chen, Zhiming & Luo, Jin & Jiang, Xiaoming & Hou, Xiandeng. (2020). Simple dilution for direct determination of trace nickel in crude oil with miniaturized electrothermal atomic absorption spectrometer. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 35.
<https://doi.org/10.1039/D0JA00081G>.
56. Karimi, Mohammad Ali & Kafi, Manijeh. (2013). Removal, preconcentration and determination of Ni(II) from different environmental samples using modified magnetite nanoparticles prior to flame atomic absorption spectrometry. *Arabian Journal of Chemistry*. 16(6).
<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.05.018>.
57. Karabayeva, G., Qutlimurotova, N., Yakhshieva, Z., Qutlimurotova, R., Atakulova, N., & Tursunqulov, J. (2025). Development of a Cyclic Voltammetric Method for the Determination of Cobalt(II) Ions Using o-Nitrosophenol. *International journal of analytical chemistry*, 134(8).
<https://doi.org/10.1155/ianc/6675527>
58. A. Khalfallah. (2023). Structure and Applications of Surfactants. *Surfactants - Fundamental Concepts and Emerging Perspectives*. doi: 10.5772/intechopen.111401.
59. Sakamoto, Kazutami & Lochhead, R.Y. & Maibach, Howard & Yamashita, Y.. (2017). *Cosmetic Science and Technology: Theoretical Principles and Applications*. 15. Pp. 231-244. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802005-0.00015>
60. Vakh, Christina & Koronkiewicz, Stanislaw. (2023). Surfactants application in sample preparation techniques: Insights, trends, and perspectives. *TrAC Trends*

- in Analytical Chemistry. 165. 117143. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117143>.
61. Magdalena, Małysa-Paśko & Lukasiewicz, Marcin & Ziec, Gabriela & Jakubowski, Piotr & Slusarz, Ewa. (2018). Micellar Extraction of Active Ingredients of Plant Raw Materials as a Tool for Improving the Quality of Diet Supplements and Additional Substances. Proceedings. 9. 5789. <https://doi.org/10.3390/ecsoc-22-05789>.
62. Kushchevskaya, N. & Gorbachevskii, A. & Doroschuk, Volodymyr & Kulichenko, S.. (2008). Micellar Extraction Concentration of Microcomponents by Phases of Nonionic SAS at the Cloud Point. Journal of Water Chemistry and Technology. 30. 296-308. <https://doi.org/10.3103/S1063455X08050068>.
63. Жуковецька, О. М., Гузенко, О. М., & Снігур, Д. В. (2023). Низькотемпературна аналітична міцелярна екстракція. Повідомлення 1: протолітичні властивості кислотних ініціаторів у організованих середовищах. Вісник Одеського національного університету. Хімія, 28:3(86), 62–71. [https://doi.org/10.18524/2304-0947.2023.3\(86\).297826](https://doi.org/10.18524/2304-0947.2023.3(86).297826)
64. Abdolmohammad-Zadeh, Hossein & Ebrahimzadeh, Elnaz. (2011). Ligandless Cloud Point Extraction for Trace Nickel Determination in Water Samples by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Journal of the Brazilian Chemical Society. 22. 517-524. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532011000300015>.
65. Snigur D., Azooz E.A., Zhukovetska O., Guzenko O., Mortada W. Recent innovations in cloud point extraction towards a more efficient and environmentally friendly procedure. (TrAC) Trends in Analytical Chemistry. 2023. vol. 164. 117113, <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117113>