

УДК 665

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-145-151

Вікторія Воробйова, Маргарита Скіба, Інна Трус, Світлана Кирій, Світлана Сіренко

**ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ ТА АНТИОКСИДАНТНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕКСТРАКТУ ПРОДУКТУ ПЕРЕРОБКИ ТОМАТА**

Досліджено ефективність використання низькотемпературного евтектичного розчинника [холін-хлорид]/[DL-молочна кислота] для екстракції органічних сполук із продукту переробки томата (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Методом високоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ) встановлено, що основними компонентами екстракту є *n*-кумарова та хлорогенова кислоти, кверцетин та рутин. За допомогою спектрофотометричного методу кількісно визначено в екстракті наявність фенольних сполук і флаваноїдів. Встановлено, що отриманий екстракт має відносно високу антирадикальну/антиоксидантну активність.

Ключові слова: екстракція; антиоксидантні властивості; жмих томата; холін хлорид-молочна кислота; поліфенольні сполуки.

Рис.: 2. Табл.: 1. Бібл.: 11.

Актуальність теми дослідження. На сьогодні дедалі більшого розвитку у векторі «зелених» технологій у галузі хімічних технологій та інженерії набувають дослідження з отримання екологічно безпечних фітохімічних/органічних сполук із рослинної сировини та відходів їх переробки. Традиційними методами вилучення «зелених» органічних сполук із рослинної сировини є екстракція відомими прекурсорами, а саме легкими органічними розчинниками (толуол, етилацетан, гексан), що надалі обмежує їх використання у специфічних галузях, таких як косметична, фармацевтична, природоохоронна та ветеринарія [1]. З огляду на вищезазначене, особливо перспективним для хімічної технології є використання альтернативних екологічно безпечних «зелених» типів розчинників для екстракції «зелених»/фітохімічних органічних сполук [2].

З викладених вище міркувань, привабливими є так звані низькотемпературні евтектичні розчинники, що загально визнані у світі як абсолютно безпечні (Generally Recognized as Safe), які повністю відповідають принципам зеленої хімії та вважаються розчинниками 4-го покоління для хімічної технології XXI сторіччя. За результатами маркетингових досліджень світового лідера виробників розчинників для різних сфер промисловості «Asia Pacific Solvents Market», попит на «зелені» розчинники, а саме низькотемпературні іонні рідини нового покоління, як очікується, зростатиме швидкими темпами і до кінця 2027 р. досягне ринкової вартості в розмірі ~13 млрд дол. Починаючи з 2018 року серед закордонних учених бурхливого розвитку набули саме вище згадані глибоко евтектичні розчинники як «зелені» екстрагенти відходів рослинної сировини [3], що розглядаються як нове покоління дешевих та екологічно безпечних іонних рідин із низкою практично корисних властивостей, що характеризуються доступністю, варіативністю компонентів, простотою синтезу та унікальною комбінацією високої екстракційної здатності, термічної та хімічної стійкості, полярністю.

Глибоко евтектичні розчинники являють собою рідину (систему), що складається з двох/трьох компонентів, акцептора водневого зв'язку та донора водневого зв'язку, які здатні до самоасоціації, утворюючи нову евтектичну фазу (суміш), що характеризується температурою плавлення (<100 °C), значно меншою, ніж у кожного компонента індивідуально. Синтез низькотемпературних евтектичних розчинників базується на використанні біодеградабельних природних органічних сполук: карбоксильних кислот (LD-молочна, винна, оксалатна), амінокислот (аланін, гліцин, гістидин, пролін), поліолів/похідних поліол цукрів (гліцерол, карбогідрати, ксилітол, D-іzosорбід, D-сорбіт), четвертинних амонієвих солей (похідних холіну), бетаїну та ін. Саме, широкий спектр різних класів сполук, які можна використати для синтезу глибоко евтектичних розчинників, призвів до повної адаптації їх відповідних властивостей як розчинників [4]. Можливість

регулювання селективності екстракції за рахунок корегування складових системи глибоко евтектичного розчинника при синтезі, дає змогу отримати розчинник, який відповідає необхідним показникам, а також підвищити ресурсозбереження та енергоефективність процесу екстракції шляхом покращення показників якості отримуваних екстрактів рослинної сировини.

Постановка проблеми. Відходи харчової/рослинної промисловості є джерелом суміші органічних сполук різних класів як летких, так і високомолекулярних, що при цілеспрямованому доборі розчинника для їх вилучення, може забезпечити поліфункціональність отриманого екстракту для різних сфер хімічної технології та інженерії. Так, особливо цікавими є поліфенольні сполуки, що мають антиоксидантну, антибактеріальну активність та є широкоживаними у харчовій та косметичній галузях. Слід зазначити, що поліфенольні сполуки мають високу ефективність як відновники при синтезі наночастинок металів, композитних матеріалів та наносистем «ядро-оболонка» [5]. Тому подальший пошук перспективних джерел фітохімічних / органічних сполук та підбір ефективних «зелених» екстрагентів є актуальним питанням для сучасної галузі хімічних технологій та інженерії.

Переважає більшість усіх овочів та фруктів у своєму складі містять поліфенольні сполуки, що зумовлює наявність великої кількості досліджень щодо інтенсифікації або розробки нових методів їх екстракції. Треба зазначити, що у науковців пріоритетність досліджень при виборі типу сировини у більшості випадків пов'язана з культивуванням або з наявністю переробних підприємств у власній країні або сусідніх державах. Аналіз агропромислового сектору України свідчить, що доцільним є валоризація продуктів переробки томатів (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Так, за даними продовольчої та сільськогосподарської організації ООН, у всьому Світі виробництво томатів неухильно зростає, а загальний річний обсяг виробництва з 129 млн тонн у 2015 році збільшився до 163 млн тонн у 2019 р. Україна посідає 15-е місце у світі за обсягами вирощування томатів після таких світових лідерів, як Туреччина, Марокко та Іспанія. В Україні переробку томатів здійснюють такі компанії, як «Чумак», «Сандора», «Торчин» та інші. Здебільшого продукти, які залишаються після пресування томатів, включають 13 % насіння, а крім того, 40 % складають вичавки томата [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз результатів, отриманих вітчизняними та закордонними вченими свідчить, що томат містить поліфенольні сполуки (похідні р-кумарової кислоти та кверцетину), а також сполуки не фенольної будови (бензиловий спирт, насичені та ненасичені жирні кислоти, каротиноїди та інші). За результатами досліджень традиційний процес екстракції фенольних сполук жмиха томата проведений спиртовим, або водно-спиртовим розчинником, демонструє низький вихід екстракції та великі енергозатрати [6]. Також науковцями досліджено ефективність екстракції трикомпонентними системами, в яких варіюється полярність: *n*-гексан – етанол – ацетон та етилацетат – етанол – ацетон [7]. Установлена можливість екстракції лікопіну з жому томата з використанням декількох видів рослинної олії як розчинника, а саме кокосової, оливкової, соєвої, пальмової та соняшникової олії. Багато публікацій присвячено отриманню лікопіну або пектину [8] із жмиха томату, а також методів інтенсифікації екстракції при використанні низькотемпературної плазми, ультразвукової або мікрохвильової обробки [9]. Варто зауважити, використання інноваційної гідрофобної евтектичної суміші (DL-ментол та LD-молочна кислота) для вилучення лікопіну [10].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Слід зазначити відсутність спроб використання глибоко евтектичних розчинників для екстракції поліфенольних сполук жмиха томата.

Постановка завдання. Викладене вище переконує про перспективність вилучення/екстракції фітохімічних/органічних сполук з жмиха томата «зеленими» глибоко евтектичними розчинниками при ультразвуковій обробці, що сприятиме більш ефективній екстракції органічних сполук, при реалізації концепції ресурсозберігаючих хімічних технологій.

Виклад основного матеріалу. У роботі використовували подрібнений сухий жмих томата сорту «Волове серце», отриманої від компанії торговельної марки «Чумак». Жмих томата подрібнювали до 5×10^{-1} мм, що дозволяє підвищити ефективність масового перенесення активних компонентів з рослинного матеріалу до розчинника. Згідно з роботами Еббота та інших [11], аніон хлору здатний утворювати два водневі зв'язки з гідроксильними групами, як показано на запропонованій схемі координації молекул (рис. 1).

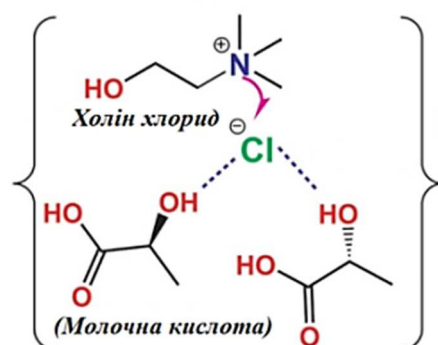


Рис. 1. Схема координації молекул холін хлориду та DL-молочної кислоти при утворенні низькотемпературного евтектичного розчинника

Глибоко евтектичний розчинник готували при постійному перемішуванні та нагріванні до $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ холін хлориду ($\geq 98,0\%$) (ChCl) та молочної кислоти ($\geq 98,0\%$) (ChCl) в молярному співвідношенні [Ch][Cl]:LA 1 : 2. Через 2 години отримали однорідну прозору безбарвну рідину, після чого додатково вводили 30 % води.

В екстракційній посудині жмих томата масою 2 г змішували з 25 мл глибоко евтектичного розчинника ([Ch][Cl]:LA). Утворену суміш обробляли протягом 2 годин ультразвуком з частотою 27 кГц та інтенсивністю 6 Вт/см^2 . Екстракцію проводили при температурі $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 50 хв, після чого екстракт фільтрували через нейлоновий фільтр з діаметром пор $0,45\text{ мкм}$.

Фенольні сполуки визначали спектрофотометричним методом (за реактивом Фоліна-Чокальтеу) в перерахунку на галову кислоту. Загальний вміст флавоноїдів визначали за допомогою ультрафіолетового спектрофотометра UV-5800PC.

Дослідження якісного складу сполук фенольної природи проводили методом ВЕРХ на рідинному хроматографі Shimadzu LC20 Prominence в модульній системі, оснащених діодно-матричним детектором SPDМ20А і ChemStation LC20. Цей метод дозволив ідентифікувати 10 сполук, серед яких домінуючими є *p*-кумарова кислота (11,80 %) хлорогенова кислота (12,36 %), кверцетин (12,70 %), рутин (6,86 %), епікатехін (5,74 %), галова (1,21 %) та ферулова (1,13 %) кислоти. Імовірно, що гідроксикоричні кислоти, які кількісно переважають, зумовлюють антиоксиданту активність екстракту.

У процесі досліджень щодо визначення загальної суми фенольних сполук та флавоноїдів екстракту жмиха томата, отриманого системою [Ch][Cl]:LA, було встановлено, що загальна сума фенольних сполук становить $11,12\text{ мг/г}$ еквівалента галової кислоти (ГК), а загальний міст флавоноїдів – $7,9\text{ мг/г}$ еквіваленту кверцетину (табл. 1).

Таблиця 1. Сполуки екстракту жмиха томата отриманого системою [Ch][Cl]:LA

Сполука	Час утримання, хв	Вміст, %
р-кумарова кислота (2E) - 3- (4- гідроксифеніл) проп- 2- енова кислота	5,087	11,80
Галова кислота (3,4,5-триоксibenзойна кислота)	6,622	1,21
Ферулова кислота (3-метокси-4-гідроксикорична кислота)	6,849	1,13
Кавова кислота (3,4-діоксикорична кислота)	8,394	4,77
Хлорогенова кислота (3-кофеїлхінна кислота)	15,32	12,36
Проціанідин	27,88	5,28
Кемпферол-3-О-глюкозид	32,67	7,51
Рутин (2-(3,4-дигідроксифеніл)-5,7-дигідрокси-3-{{(2S,3R,4S,5S,6R)-3,4,5-тригідрокси-6-({(2R,3R,4R,5R,6S)-3,4,5-тригідрокси-6-метилоксан-2-ил}окси}метил)оксан-2-ил}окси}-4H-хромен-4-он)	33,11	6,86
Епекатехін	33,33	5,74
Кверцетин (2-(3,4-дигідроксифеніл)-3,5,7-тригідрокси-4H-хромен-4-он)	46,760	12,7

Проведено порівняльний аналіз антирадикальної дії екстракту жмиха томата щодо радикала 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразилу (ДФПГ) і катіон-радикала 2,2'-азіно-біс-(3-етилбензтіазоліно)-6-сульфонова кислота (АБТС). На рис. 2 наведено кількісні характеристики взаємодії екстракту жмиха томату з ДФПГ. Порівняння антирадикальної активності проводили відносно тролоксу (6-гідрокси-2,5,7,8-тетраметилхроман-2-карбонова кислота) та комерційного антиоксиданта бутилгідрокситолуолу (ВНТ). У діапазоні концентрацій 60–80 мг/мг спостерігається радикал-поглинальна ефективність на рівні 40 % відносно радикалу ДФПГ, та 50 % відносно катіон-радикала АБТС.

При взаємодії екстракту жому томату з ДФПГ в етанолі реакція відбувається за двома конкуруючими процесами – механізм взаємодії фенольних сполук із радикалами, що полягає у прямому переносі атома водню від фенолу до радикала і механізм взаємодії фенольних сполук із вільними радикалами, що полягає в послідовній дисоціації молекули фенолу з переносом електрона до радикала. При взаємодії із катіон-радикалом АБТС найбільш імовірним є реалізація механізму взаємодії фенольних сполук із вільними радикалами, що полягає в переносі електрона з наступним переносом протона від молекули фенолу до радикала.

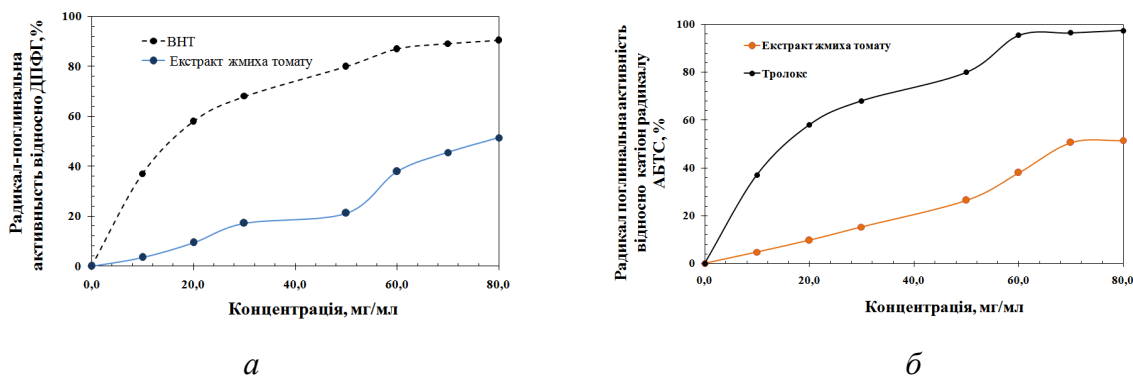


Рис. 2. Результати визначення антирадикальної активності сполук екстракту жмиха томата отриманого системою [Ch][Cl]:LA відносно радикала ДФПГ (а) і катіон-радикала АБТС (б)

Отже, ці сполуки є більш ефективними антирадикальними агентами щодо катіон-радикала АБТС ніж доДФПГ.

Висновки. Отримано та досліджено компонентний склад та антирадикальні/антиоксидантні властивості екстракту жмиха томату отриманого при екстракції низькотемпературним евтектичним розчинником холін хлорид-молочна кислота. За допомогою ВЕРХ та спектрофотометричних методів досліджень визначений якісний та кількісний склад фенольних сполук та флавоноїдів у екстракті. Показано, що отриманий екстракт має відносно високу антирадикальну/антиоксидантну активність.

Список використаних джерел

1. Islam T., Yu X., Bad-wal, T. S. & Xu B. Comparative studies on phenolic profiles, antioxidant capacities and carotenoid contents of red goji berry (*Lycium barbarum*) and black goji berry (*Lycium ruthenicum*). *Chemistry Central Journal*. 2017. № 11. 59. Pp. 1–8.
2. Alrugaibah M., Yagiz Y., & Gu L. Use natural deep eutectic solvents as efficient green reagents to extract procyanidins and anthocyanins from cranberry pomace and predictive modeling by RSM and artificial neural networking. *Separation and Purification Technology*. 2021. № 255. Pp. 117720.
3. Bi W., Tian M., Row K.H. Evaluation of alcohol-based deep eutectic solvent in extraction and determination of flavonoids with response surface methodology optimization. *J. Chromatogr. A*. 2013. № 1285. Pp. 22–30.
4. Bubalo M.C. Curko N., Tomašević M., Ganić K.K., Redovniković I.R. Green extraction of grape skin phenolics by using deep eutectic solvents. *Food Chem*. 2016. 200. Pp. 159–166.
5. Chyhyrynets, O. E., Fateev, Y. F., Vorobiova, V. I. et al. Study of the Mechanism of Action of the Isopropanol Extract of Rapeseed Oil Cake on the At-mospheric Corrosion of Copper. *Mater Sci*. 2016. № 51. Pp. 644–651.
6. Knoblich M., Anderson B., & Latshaw D. Analyses of tomato peel and seed byproducts and their use as a source of carotenoids. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2005. № 85. Pp. 1166–1170.
7. Zuorro A. Enhanced Lycopene Extraction from Tomato Peels by Optimized Mixed-Polarity Solvent Mixtures. *Molecules*. 2020. № 25(9). C. 2038.
8. Sengar A. S., Rawson A., Muthiah M., & Kumar Kalakandan, S. Comparison of different ultrasound assisted extraction techniques for pectin from tomato processing waste. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2020. № 61. Pp. 104812.
9. Bao Y., Reddivari L., & Huang J.-Y. Development of cold plasma pretreatment for improving phenolics extractability from tomato pomace. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020. № 65. Pp. 102445.
10. Silva Y. P. A., Ferreira T. A. P. C., Jiao G., & Brooks M. S. Sustainable approach for lycopene extraction from tomato processing by-product using hydrophobic eutectic solvents. *Journal of Food Science and Technology*. 2019. № 56. Pp. 1649–1654.
11. Abbott AP, Capper G, Davies DL, Munro HL, Rasheed RK, Tambyrajah. Preparation of novel, moisture-stable, Lewis-acidic ionic liquids containing quaternary ammonium salts with functional side chains. *Chem Commun*. 2001. № 19. Pp. 2010–2011.

References

1. Islam, T., Yu, X., Bad-wal, T. S., & Xu, B. (2017). Comparative studies on phenolic profiles, antioxidant capacities and carotenoid contents of red goji berry (*Lycium barbarum*) and black goji berry (*Lycium ruthenicum*). *Chemistry Central Journal*, 11(59), pp. 1–8.
2. Alrugaibah, M., Yagiz, Y., & Gu, L. (2021). Use natural deep eutectic solvents as efficient green reagents to extract procyanidins and anthocyanins from cranberry pomace and predictive modeling by RSM and artificial neural networking. *Separation and Purification Technology*, 255, pp. 117720.
3. Bi, W., Tian, M., Row, K.H. (2013). Evaluation of alcohol-based deep eutectic solvent in extraction and determination of flavonoids with response surface methodology optimization. *J Chromatogr*, 1285, pp. 22–30.
4. Bubalo, M.C. Curko N., Tomašević M., Ganić K.K., Redovniković I.R. (2016). Green extraction of grape skin phenolics by using deep eutectic solvents. *Food Chem.*, 200, pp. 159–166.

5. Chyhyrynets, O. E., Fateev, Y. F., Vorobiova, V. I. et al. (2016). Study of the Mechanism of Action of the Isopropanol Extract of Rapeseed Oil Cake on the At-mospheric Corrosion of Copper. *Mater Sci.*, 51, pp. 644–651.
6. Knoblich, M., Anderson, B., & Latshaw, D. (2005). Analyses of tomato peel and seed byproducts and their use as a source of carotenoids. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, pp. 1166–1170.
7. Zuurro, A. (2020). Enhanced Lycopene Extraction from Tomato Peels by Optimized Mixed-Polarity Solvent Mixtures. *Molecules*, 25(9), pp. 2038.
8. Sengar, A. S., Rawson, A., Muthiah, M., & Kumar Kalakandan, S. (2020). Comparison of different ultrasound assisted extraction techniques for pectin from tomato processing waste. *Ultrasonics Sonochemistry*, 61, pp. 104812.
9. Bao, Y., Reddivari, L., & Huang, J.-Y. (2020). Development of cold plasma pretreatment for improving phenolics extractability from tomato pomace. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 65, pp. 102445.
10. Silva, Y. P. A., Ferreira, T. A. P. C., Jiao, G., & Brooks, M. S. (2019). Sustainable approach for lycopene extraction from tomato processing by-product using hydrophobic eutectic solvents. *Journal of Food Science and Technology*, 56, pp. 1649–1654.
11. Abbott, AP, Capper, G, Davies, DL, Munro, HL, Rasheed RK, Tambyrajah. (2001). Preparation of novel, moisture-stable, Lewis-acidic ionic liquids containing quaternary ammonium salts with functional side chains. *Chem Commun*, 19. pp. 2010–2011.

UDC 665

Viktoriia Vorobyova, Margarita Skiba, Inna Trus, Svitlana Kyrii, Svetlana Sirenko

RESEARCH OF COMPONENT COMPOSITION AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF TOMATO PROCESSED PRODUCT EXTRACT

Nowadays in the field of chemical technologies and engineering, research on obtaining ecologically safe phytochemicals / organic compounds from plant raw materials and waste from their processing is gaining more and more development in the vector of “green” technologies.

The search of promising sources of phytochemical / organic compounds and the selection of effective “green” extractants is a topical issue for the modern industry of chemical technology and engineering.

Recent publications that tomato contains polyphenolic compounds (p-coumaric acid and quercetin derivatives), as well as non-phenolic compounds (benzyl alcohol, saturated and unsaturated fatty acids, carotenoids, etc.) were considered, and extraction processes of these compounds were considered.

Information on the use of deep eutectic solvents for the extraction of polyphenolic compounds of tomato pomace.

To study the component composition of the tomato processing product extract obtained with a deep eutectic solvent and to establish its antioxidant / antiradical capacity.

*The efficiency of using a low-temperature eutectic solvent [choline chloride] / [DL-lactic acid] for the extraction of organic compounds from the tomato processing product (*Lycopersicon esculentum*. Mill.) was investigated. The composition of the extract was studied by high performance liquid chromatography (HPLC). The main components of the extract are p-coumaric and chlorogenic acids, quercetin and rutin. The presence of phenolic compounds and flavonoids in the extract was quantified by spectrophotometric method. The phenolic compounds in the test extract were determined using Folin-Choccolteu reagent and expressed as gallic acid equivalent (mgGC / g of extract). The flavonoid content of the extract was determined by the spectrophotometric method with aluminum chloride and expressed in quercetin equivalent (mgKV / g of extract). The antioxidant activity of the obtained extract was also determined by a method using an ethanolic solution of the stable free radical DPPH and a cation radical ABTS. Antiradical activity is expressed as a percentage of inhibition.*

The work uses an environmentally friendly, ionic solvent for the extraction of organic compounds from tomato pomace. The component composition and antiradical/antioxidant properties of tomato pomace extract obtained by extraction with low-temperature eutectic solvent based on the choline chloride and lactic acid were studied. Polyphenolics compounds are the main class of extracted compounds. It was found that at concentrations of 60–80 ml/mg extract radical-absorbing efficiency against the radical 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) and the cation radical 2,2'-azino-bis-(3-ethylbenzthiazolino)-6-sulfonic acid (ABTS) is at the level of 40 % and 50 %, respectively. Thus, tomato pomace extract obtained by using DES has a high antiradical / antioxidant activity.

Keywords: extraction; antioxidant properties; tomato juice; choline chloride-lactic acid.

Fig.: 2. Table: 1. References: 11.

Воробійова Вікторія Іванівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної хімії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Vorobyova Viktoriia – PhD in Technical Science, associate professor, associate professor of Physical Chemistry Department, National Technical University of Ukraine National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: vorobyovavika1988@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7479-9140>

ResearcherID: J-5678-2017

Scopus Author ID: 55808771000

Скіба Маргарита Іванівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та технології неорганічних речовин, Український державний хіміко-технологічний університет (просп. Гагаріна, 8, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна).

Sciba Margarita – PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Department of Ecology and Technology of Inorganic Substances, Ukrainian State University of Chemical Technology (8 Gagarina Av., 49005 Dnepropetrovsk, Ukraine).

E-mail: margaritaskiba88@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4634-280X>

ResearcherID: AАН-8410-2019

Scopus Author ID: 57198771281

Трус Інна Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Trus Inna – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Ecology and Technology of Plant Polymers, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: inna.trus.m@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6368-6933>

ResearcherID: I-3204-2017

Scopus Author ID: 56152219600

Кириї Світлана Олександрівна – кандидат технічних наук, асистент кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна).

Kyrii Svitlana – PhD in Technical Sciences, assistant of the Department of Inorganic Substances, Water Purification and General Chemical Technology, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: kysvit@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2805-7821>

ResearcherID: I-3848-2018

Scopus Author ID: 57201580657

Сіренко Світлана Олександрівна – студентка кафедри фізичної хімії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Sirenko Svetlana – student of the Department of Physical Chemistry, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).