

## РОЗДІЛ III. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

DOI: 10.25140/2411-5363-2022-4(30)-140-147

УДК 665

**Вікторія Воробйова<sup>1</sup>, Георгій Васильєв<sup>2</sup>, Інна Трус<sup>3</sup>,  
Маргарита Скиба<sup>4</sup>, Олена Гнатко<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри фізичної хімії  
Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

E-mail: [vorobyovavika1988@gmail.com](mailto:vorobyovavika1988@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7479-9140>

ResearcherID: [J-5678-2017](https://orcid.org/0000-0001-7479-9140). Scopus Author ID: [55808771000](https://orcid.org/0000-0001-7479-9140)

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри технології електрохімічних виробництв  
Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

E-mail: [g.vasyliiev@kpi.ua](mailto:g.vasyliiev@kpi.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4056-5551>

ResearcherID: [I-3058-2018](https://orcid.org/0000-0003-4056-5551). Scopus Author ID: [56105504500](https://orcid.org/0000-0003-4056-5551)

<sup>3</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів  
Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

E-mail: [inna.trus.m@gmail.com](mailto:inna.trus.m@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6368-6933>

ResearcherID: [I-3204-2017](http://orcid.org/0000-0001-6368-6933). Scopus Author ID: [56152219600](http://orcid.org/0000-0001-6368-6933)

<sup>4</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та технології неорганічних речовин  
ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (Дніпро, Україна)

E-mail: [margaritaskiba88@gmail.com](mailto:margaritaskiba88@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4634-280X>

ResearcherID: [AAH-8410-2019](https://orcid.org/0000-0003-4634-280X). Scopus Author ID: [57198771281](https://orcid.org/0000-0003-4634-280X)

<sup>5</sup>кандидат технічних наук, асистент кафедри механіки

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (Дніпро, Україна)

E-mail: [olena.gnatko@gmail.com](mailto:olena.gnatko@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0588-0425>

Scopus Author ID: [55105211700](https://orcid.org/0000-0003-0588-0425)

### ЕКСТРАКЦІЯ ПОЛІФЕНОЛЬНИХ СПОЛУК ІЗ ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ ВИНОГРАДУ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИМ ЕВТЕКТИЧНИМ РОЗЧИННИКОМ БЕТАЇН-МОЛОЧНА КИСЛОТА

Синтезовано іонну рідину нового покоління – низькотемпературний евтектичний розчинник (НЕР) III типу системи молочна кислота – бетаїн (співвідношення 1:2 М). У роботі вивчено вплив води на в'язкість НЕР. Після додавання до НЕР 10 % води в'язкість суттєво зменшується (від 20000 до 4000 мПа × с). Проведені дослідження показали, що при введенні до 10 % води густина та в'язкості зменшуються, однак деградації НЕР не спостерігається, тому доцільним для екстракції природних метаболітів рослинної сировини є застосування НЕР із вмістом води до 10 %. Загальний вміст вилучених фенольних сполук та флаваноїдів при екстракції жому винограду НЕР збільшується ((80,75 ± 1,75) мг галової кислоти/г рослинного матеріалу; (47,41 ± 1,20) мг кверцетину/г рослинного матеріалу) порівняно з екстрактом отриманим 70%-им розчином етанолу.

**Ключові слова:** низькотемпературні евтектичні розчинники; екстракція; жом винограду; поліфенольні сполуки; хімічні технології.

Рис.: 3. Табл.: 2. Бібл.: 11.

**Актуальність теми дослідження.** Розвиток сучасної хімічної технології та інженерії спрямований на концепцію впровадження інноваційних «зелених» технологій і їх екологізації. Більшість процесів у галузі хімічних технологій отримання косметичних засобів, фармацевції та інших пов'язано з використанням токсичних та агресивних органічних розчинників або реакційних середовищ розчинників. Навіть для «зелених» технологій продовжують використовувати «традиційні» розчинники: метанол, ацетон, толуол, що суттєво обмежує поліфункціональність властивостей та галузі їх використання. З викладених вище міркувань привабливими є так звані низькотемпературні евтектичні розчинники, що загально визнані у світі як абсолютно безпечні (Generally Recognized as Safe), повністю відповідають принципам зеленої хімії та вважаються розчинниками 4 покоління для хімічної технології XXI сторіччя. Починаючи з 2008 року серед закордонних учених бурхливого розвитку набули «зелені» нанотехнології, у яких використовуються

© Вікторія Воробйова, Георгій Васильєв, Інна Трус, Маргарита Скиба, Олена Гнатко, 2022

саме вищезгадані глибоко евтектичні розчинники [1-5], 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. Далі ці розчинники широко використовуються в різних сферах, для синтезу полімерів, осадження металів і в наноматеріалознавстві, як екстракційних і хроматографічних середовищ [3]. Однак, на відміну від органічних розчинників, НЕР в основному залежить від міжмолекулярних взаємодій між його компонентами, що робить НЕР легко залежними від різних факторів і передусім від вмісту води, температури. Тому першочергово для визначення потенційної області використання НЕР доцільно провести синтез та оцінити основні фізико-хімічні властивості НЕР, а саме в'язкість, густину, екстракційні властивості.

**Постановка проблеми.** Варіативність вихідних компонентів для створення НЕР зумовлює широку номенклатуру синтезованих іонних рідин, фізико-хімічні властивості яких сильно варіюються. Загальним недоліком для НЕР є їхня висока в'язкість, що обмежує сфери їх застосування. Тому практично важливим після синтезу нових НЕР є дослідити вплив води на основні характеристичні параметри та визначити, при якому вмісті води іонні рідини не деградують, але одночасно мають технологічно достатні в'язкість, густину, електропровідність. У попередній роботі [7] авторами синтезовано низку НЕР на основі молочної кислоти – бетаїну/проліну та визначено електропровідність розчинів НЕР із додаванням води до 25 %. Додавання води в кількості 1...25 % призводить до зменшення ширини електрохімічного вікна з 1,33 до 1,21 В та збільшення електропровідності. Вищевизначені параметри широко використовують для використання НЕР у технологіях електрохімічного осадження матеріалів. Водночас для використання НЕР як екстракційних і хроматографічних середовищ необхідним є вивчення зміни в'язкості та густини синтезованих НЕР. Незважаючи на популярність екстракції НЕР природних вторинних метаболітів із продуктів переробки винограду [4-5; 8], немає попередніх робіт, які б вивчали розчинники на основі молочної кислоти – бетаїну та проліну для вилучення природних сполук із продуктів переробки рослинної сировини.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** НЕР як «зелені» розчинники 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 [1-3]. Тому вони набули широкого застосування в різних галузях [3; 9-10]. В останніх роботах [4-6; 10] теоретичним методом COSMO-RS спрогнозовано екстракційну ефективність 45 типів НЕР проти виноградного жому та наголошено, що більш ефективним є системи молочної кислоти – бетаїну/проліну, а підвищення розчинності основних сполук, можна досягти при введенні води.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** На сьогодні не дослідженим є вплив води на в'язкість та густину НЕР на основі бетаїну та молочної кислоти, для визначення можливості його використання в екстракції вторинних метаболітів рослинної сировини. Перспективний напрям валоризації продуктів переробки рослинної сировини, а саме вилучення природних органічних сполук, при використанні НЕР також не досліджено. Отриманні дані дадуть змогу підвищити ефективність вилучення поліфенольних сполук із рослинної сировини. Рослині екстракти далі можуть бути використані для синтезу колоїдних розчинів наночастинок срібла, золота як відновник та стабілізатор, як активний антиоксидант для косметичної та харчової промисловості.

**Метою роботи** є вивчення впливу води на в'язкість та густину НЕР на основі бетаїну та молочної кислоти та оцінка їхньої екстракційної здатності поліфенольних сполук продуктів переробки рослинної сировини, а саме жому винограду.

### **Виклад основного матеріалу.**

#### Приготування низькотемпературних евтектичних розчинників

При проведенні експериментів використовувалися такі вихідні речовини (х.ч.): молочна кислота та бетаїн. Їх змішували в герметичних скляних колбах ємністю 100 мл у відповідних молярних 1:2 співвідношеннях, виходячи з номера НЕР. Суміш поміщали на водяну баню та сплавили при температурі 70-80 °С до утворення однорідної, прозорої рідини. Перемішування проводили безперервно за допомогою магнітної мішалки зі швидкістю обертання 300 об/хв. Після утворення однорідної, прозорої рідини суміш охолоджували на повітрі до кімнатної температури. Було синтезовано системи НЕР з різним додаванням вмісту води (5-25 %).

#### Приготування екстракту

Висушений виноградний жом був придбаний у місцевого постачальника. Вміст вологи визначали шляхом сушіння трьох зразків при 80 °С до постійної ваги, і результат становив  $(5,02 \pm 0,63)$  %, виражений у вологому стані. Порошок жому винограду додавали в НЕР у співвідношенні розчинник/тверда речовина 10/1. Це співвідношення маса/розчинник було обрано в процесі досліджень, оскільки забезпечує повне покриття рослинного матеріалу використовуваним розчинником (НЕР). Суміш екстрагували в ультразвуковій ванні з вхідною потужністю ультразвуку 30 Вт і частотою 30 кГц. Тривалість екстракції становила 60 хв при температурі 65 °С. Отриману суспензію декантували та фільтрували через паперовий фільтр.

#### Характеристика екстракту жому винограду

Аналіз та ідентифікація основних сполук отриманого екстракту був проведений за допомогою методів високоефективної рідинної хроматографії з детектором з діодною матрицею (HPLC-DAD) і високоефективної рідинної хроматографії – мас-спектрометрії (HPLC-MS). Використання різних методів аналізу зумовлена різницею в чутливості кожного методу [10]. Аналіз HPLC - DAD проводили на апараті Agilent Technologies 1260 Infinity HPLC, обладнаному колонкою Thermo Scientific Hypersil Golda Q C18 (150×4,6 мм, розмір частинок 5 μм) і детектором з діодною матрицею. Рухомими фазами були (А) 2,5 % об'єм/об'єм оцтової кислоти у воді та (В) 2,5 % об'єм/об'єм оцтової кислоти в метанолі, швидкість потоку становила 1 мл/хв, температура колонки становила 25 °С, а об'єм ін'єкції становив 10 μкл. Перед введенням зразків проводили 5-хвилинне врівноваження з 5% В. Елюювання проводили за лінійним градієнтом з такими умовами: 0 хв, 5 % В; 20 хв, 20 % В; 15 хв, 40 % В; 18 хв, 30 % В; 28 хв, 20 % В; 35 хв, 0 % В. Час роботи становив 35 хв, а дані реєстрували при 325 і 354 нм для ідентифікації фенольних кислот, флавонолів і флавоноїдів. Аналіз HPLC - MS аналізу джерело іонізації з електророзпиленням працювало в режимі негативних іонів під напругою 4,5 кВ і сканувалося від m/z 170 до 700. Температура трубки для перенесення іонів становила 355 °С, а температура випарника становила 350 °С.

Ідентифікацію екстрагованих сполук проведено за порівнянням часу утримування (RT), УФ- та мас-спектрів виявленої сполуки при певному піку утримання із зазначеними параметрами чистого стандарту модельних сполук [4, 8].

#### Визначення загального вмісту поліфенолів та флавоноїдів в екстракті

Загальний вміст поліфенолів (ЗВФС) в екстракті визначали спектрофотометричним методом із реактивом допомогою методу Фоліна-Чокальтеу [4]. 50 μкл екстракту змішували з 300 μкл реагенту Фоліна-Чокальтеу (2 Н). Потім додавали 4,7 мл розчину карбонату натрію (50 г/л) і струшували. Пробірки із сумішшю витримували в темряві протягом 90 хвилин при кімнатній температурі та вимірювали поглинання при 765 нм. Загальний вміст флавоноїдів (ЗВФ) визначали спектрофотометричним методом із реактивом алюмінію (III) хлориду [4]. Калібрувальні криві (5-100 мг галової кислоти та кверцетину на

літр) використовували для розрахунку загального вмісту поліфенолів екстракту та флавоноїдів відповідно. Результати вмісту поліфенолів виражали в міліграмах еквівалента галової кислоти та кверцетину на грам рослинного матеріалу.

Випробування в'язкості проводили з використанням віскозиметра 16983, тип U-подібної трубки з реверсом у термостатичній ванні TVB 445 (Labovisco B.V., Нідерланди) [2]. Зміну густини визначали за допомогою пікнометра.

Усі вимірювання проводили в трьох повторях. Результати досліджень виражені як середнє квадратичне відхилення трьох значень ( $n = 3$ ).

Результати досліджень зміни в'язкості низькотемпературного евтектичного розчинника залежно від вмісту води.

У результаті значне зниження в'язкості НЕР при різному вмісті води (5, 10, 25 %) означає, що молекули води беруть участь у водневих зв'язках при формуванні НЕР (рис. 1). Висока в'язкість НЕР часто пояснюється наявністю інтенсивних водневих зв'язків між компонентами. Після додавання до НЕР 10 % води їх в'язкість зменшилася з 16000,00 до 3500,00 мПа  $\times$  с. Такий важливий вплив води може бути як позитивним, так і негативним, що сильно залежить від кінцевого застосування НЕР. Внесення 25 % суттєво впливає на в'язкість, яка експоненціально зменшується при збільшенні температури.

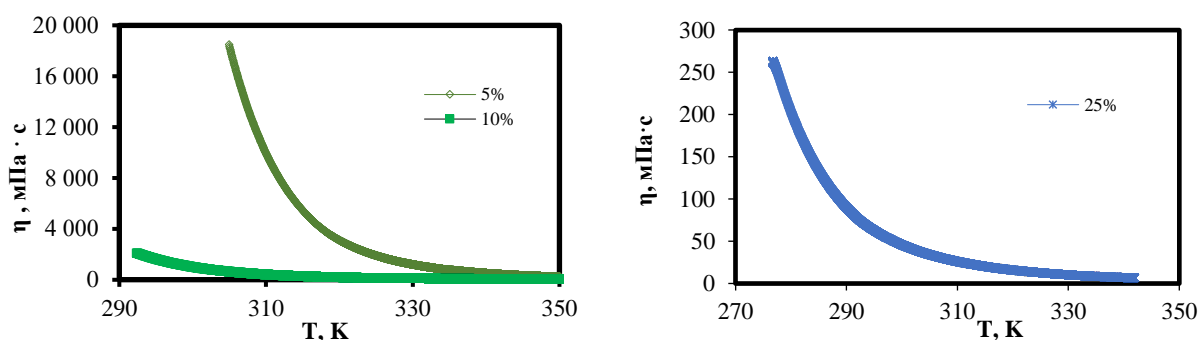


Рис. 1. Вплив температури і вмісту води на в'язкість НЕР

Визначені попередньо значення електропровідності, знайдені в попередньому дослідженні, корелюють зі значеннями в'язкості, оскільки найбільш в'язкі НЕР демонстрували низьку електропровідність та проявляють суттєве зниження електрохімічної стабільності при переході від 10 до 25 % води.

Вміст води також впливає на інші фізичні властивості, такі як густина (рис. 2). Таким чином, визначення основних фізико-хімічних властивостей свідчить, що для екстракції доцільним є використання НЕР із вмістом води до 10 %. Щільність НЕР зменшувалася лінійно зі збільшенням вмісту води.

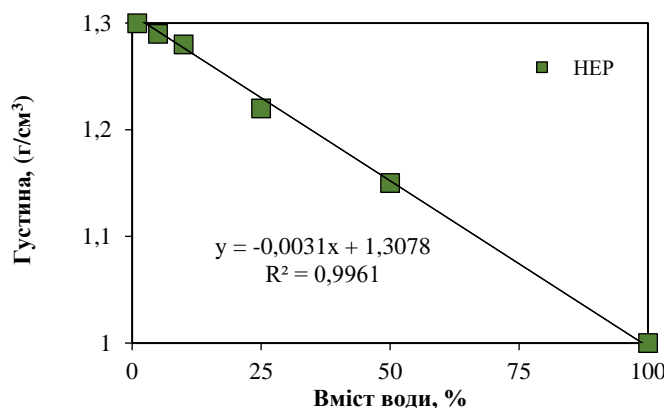


Рис. 2. Вплив вмісту води на густину НЕР

Отримані екстракти жому винограду були аналізовані методом рідинної хроматографії – мас-спектрометрії. Відносний час утримання (RT) та мас-спектри компонентного складу екстрактів порівнювали із часом автентичного зразка та мас-спектрами бібліотеки даних. Результати рідинної хромато–мас-спектрометрії екстракту жому винограду представлені на рис. 3 та в табл. 1.

Таблиця 1 – Компонентний склад екстракту жому винограду

Сполука	Пік	Отримані значення		
		Час утримання/ retention time (RT)	Відсотковий вміст розчинника	
			НЕР	Вода/етанол (70%)
<b>Антоціани</b>				
дельфінідин 3-О-глюкозид	9	15,2	4,7	2,4
ціанідин-3-О-глюкозид	10	16,4	2,1	1,5
мальвідін 3-О-глюкозид	11	16,6	6,4	5,7
петунідин 3-О-глюкозид	12	17,1	6,0	4,7
<b>Фенольні кислоти</b>				
Галова кислота	1	1,8	10,4	11,2
протокатехінова кислота	2	4,7	4,1	4,9
п-гідроксibenзойна кислота	3	5,0	2,8	3,0
кутарова кислота	4	5,2	1,8	2,1
кавова кислота	5	6,4	6,5	12,8
епікатехін	6	7,3	8,1	5,2
сирингова кислота	7	7,7	4,0	5,8
р-кумарова кислота	8	8,0	2,7	3,0
<b>Антоксантини і стилбени</b>				
(+)-катехін	13	20,3	8,1	5,6
Кверцетин-3-О-глюкозид	14	20,5	1,5	1,4
Кверцетин-3-О-рутинозид	15	23,8	4,0	3,2
Кемпферол-3-О-глюкозид	16	24,5	3,0	2,7
кверцетин	17	25,0	3,7	2,5

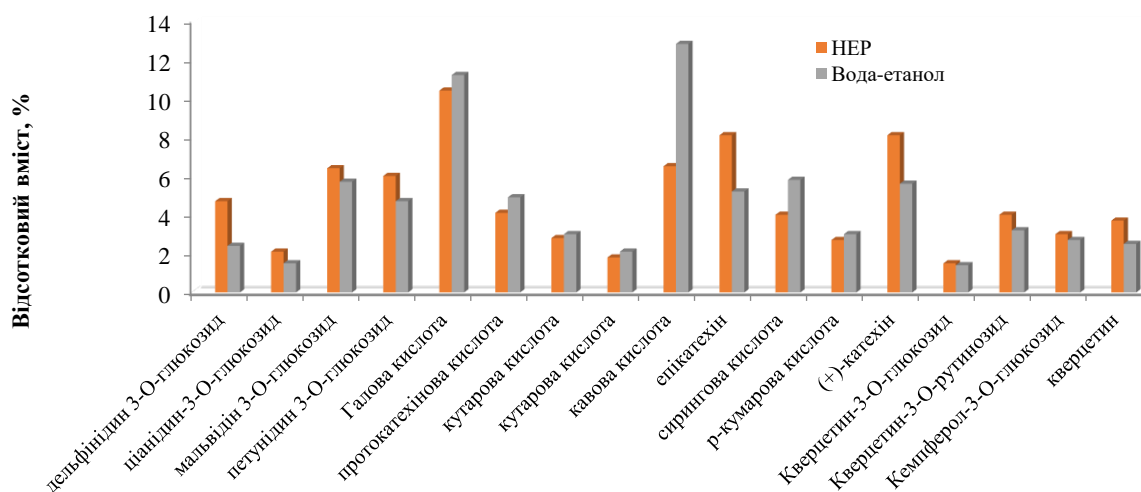


Рис. 3. Відсотковий вміст поліфенольних сполук, екстрагованих з екстракту жмиху винограду

Порівнюючи всі хроматограми, використаний метод дозволив розділити фенольні сполуки за часом утримання. Зокрема, гідроксикоричні кислоти елюються в перші 10 хвилин часу роботи, тоді як флавоноїди – пізніше. Крім того, гідроксикоричні кислоти показали більш високі піки інтенсивності при 325 нм, тоді як флавоноїди легше видно при 354 нм. Попередню ідентифікацію антоціанів і гідроксикоричних кислот проводили

за допомогою УФ-спектрів кожного піку, отриманих на хроматограмах DAD-LC, і порівнювали з УФ-спектрами стандартних сполук. Відмінності в профілях сполук на рисунках можна пояснити використаним розчинником. Так 70%-ий розчин етанолу дозволив екстрагувати флавоноли і гідроксикоричні кислоти, тому його використовували як еталон для оцінки різноманітності досліджуваних екстрагованих сполук з жому винограду.

При використанні 70%-ого розчину етанолу як розчинника очікується низький вміст флавоноїдів в екстрактах. Оскільки екстракція цим розчинником при рН близького до нейтрального сприятиме екстракції більш полярних та іонізованих біологічно активних сполук, таких як гідроксикоричні кислоти. Тоді як менш полярні сполуки, такі як флавоноли та флавоноїди розчиняються гірше. Наприклад, кавава та сиригіннова кислоти краще розчиняються у воді, ніж флавоноїди (див. табл. 1). Тому водно-спиртові екстракти мають вищий вміст гідроксикоричних кислот та нижчий вміст флавоноїдів, як показано на малюнку 3. У свою чергу, екстракція глибоким евтектичним розчинником, порівняно із традиційним розчинником, демонструє вищі піки. У результаті чого можна зробити висновок про підвищення виходу екстракції з використанням НЕР.

Для однозначної ідентифікації сполук, присутніх у кожному екстракті, використовувалася HPLC-DAD. Характеристичні фрагменти в спектрі МС та УФ-спектрах кожного піку використовувалися для ідентифікації як гідроксикоричних кислот, так і флавоноїдів. З використаних стандартів були ідентифіковані лише кавава кислота, (+)-катехін і кемпферол. У таблиці 2 показано кількість (мкг/г) ідентифікованих сполук та їхні відповідні хроматографічні характеристики. Основними компонентами екстракту жому винограду були гідроксикоричні кислоти, антоціани, антоксантини та стилбени. Результати HPLC-DAD показали вплив розчинника на склад екстракту. Були виявлені значні відмінності в профілі сполуки між екстракцією 70%-им розчином етанолу екстракцією з використанням НЕР. При екстракції з НЕР вдалося отримати складну суміш гідроксикоричних кислот і флавоноїдів, тоді як з традиційним розчинником – переважно гідроксикоричні кислоти.

Ефективність екстракції також було оцінено за допомогою спектрофотометричного визначення вмісту фенольних сполук (ЗВФС) та флавоноїдів (ЗВФ) в екстракті жому винограду (табл. 2).

Таблиця 2 – Загальний вміст фенолів і флавоноїдів в екстрактах жому винограду

Розчинник	Загальний вміст фенольних сполук (ЗВФС)	Загальний вміст флавоноїдів (ЗВФ)
НЕР	80,75±1,75	47,41±1,20
Вода/етанол (70%)	45,10±1,75	12,15±1,20

Таблиця 2 показує результати варіації ЗВФС екстракту. Еталонна екстракція 70%-им розчином етилового спирту дала ЗВФС 45,10±1,75 мг галової кислоти/г рослинного матеріалу, що відповідає нижчому значенню, ніж отримано при екстракції з НЕР. Достовірно вищий вміст флавоноїдів спостерігався у системі НЕР (47,41±1,20) мг кверцетину/г сухої ваги) порівняно з традиційним розчинником (70 % етанолом) (12,15±1,20) мг кверцетину/г сухої ваги).

**Висновки.** Синтезовано низькотемпературний евтектичний розчинник III типу, а саме НЕР молочна кислота – бетаїн (співвідношення 1:2 М). Встановлено, що при додавання до НЕР 25 % води в'язкість суттєво зменшується від 20000 до 4000 мПа × с при зменшенні температури від 290 до 350 К. Введення 25 % води суттєво зменшує в'язкість до 250 мПа × с при 290 К. Щільність НЕР зменшується лінійно зі збільшенням вмісту води і при вмісті до 10% залишається близькою до НЕР. Проведені дослідження показали, що при введенні до 10% води в'язкості зменшується, деградації НЕР не спостерігається, тому можливим для екстракції рослинної сировини є застосування НЕР із вмістом води до 10 %. За допомогою ВЕРХ та спектрофотометричних методів досліджень визначений якісний та кількісний склад фенольних сполук та флавоноїдів у екстракті. Показано, що отриманий екстракт на основі НЕР має порівняно вищий вміст вие зазначених сполук порівняно із використаним 70%-им розчином етанолу.

**Список використаних джерел**

1. Solubility of metal oxides in deep eutectic solvents based on choline chloride / A. P. Abbott, G. Capper, D. L. Davies, K. J. McKenzie, & S. U. Obi // *Journal of Chemical & Engineering Data*. – 2006. – Vol. 51(4). – Pp. 1280-1282.
2. Modeling the physicochemical properties of natural deep eutectic solvents / A. Kovács, E. C. Neyts, I. Cornet, M. Wijnants & P. Billen // *ChemSusChem*. – 2020. – Vol. 13(15). – Pp. 3789-3804.
3. Natural deep eutectic solvents: properties, applications, and perspectives / Y. Liu, J. B. Friesen, J. B. McAlpine, D. C. Lankin, S. N. Chen, & G. F. Pauli // *Journal of natural products*. – 2018. – Vol. 81(3). – Pp. 79-690.
4. Selin Deniz. Ultrasound-assisted natural deep eutectic solvent extraction of phenolic compounds from apple pomace / Selin Deniz, Ayşe Ezgi Ünlü & Serpil Takaç // *Separation Science and Technology*. – 2023. – Vol. 58. – № 2. – Pp. 302-313.
5. Natural Deep Eutectic Solvents (NADESSs) Combined with Sustainable Extraction Techniques: A Review of the Green Chemistry Approach in Food Analysis / Cannavacciuolo C., Pagliari S., Frigerio J., Giustra C. M., Labra M., Campone L. // *Foods*. – 2023. – Vol. 12 (1). – P. 56.
6. Deep eutectic solvents as sustainable extraction media for plants and food samples: A review / Soukaina Kaoui, Bouchra Chebli, Safa Zaidouni, Khadija Basaid, Youssef Mir // *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. – 2023. – Vol. 31. – P. 100937.
7. Дослідження компонентного складу та антиоксидантних властивостей екстракту продукту переробки томата / В. Воробйова, М. Скїба, І. Трус, С. Кирій, С. Сіренко // *Технічні науки та технології*. – 2021. – № 1(23). – С. 145-151.
8. Extraction of Polyphenolic Antioxidants from Red Grape Pomace and Olive Leaves: Process Optimization Using a Tailor-Made Tertiary Deep Eutectic Solvent / Athanasiadis V., Palaioiannis D., Poulianiti K., Bozinou E., Lalas S.I., Makris D.P. // *Sustainability* – 2022. – Vol. 14. – P. 6864.
9. Екстракція жмиху томату «зеленим» розчинником та оцінка антиоксидантних властивостей / В. І. Воробйова, М. І. Скїба, І. М. Трус, Г. С. Васильєв // *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження»*. – 2021. – № 2. – С. 59–65.
10. COSMOtherm as an Effective Tool for Selection of Deep Eutectic Solvents Based Ready-To-Use Extracts from Graševina Grape Pomace / Panić M., Gunjević V., Radošević K., Cvjetko Bubalo M., Ganić K. K., Redovniković I. R. // *Molecules*. – 2021. – Vol. 26(16). – P. 4722.
11. Визначення електрохімічних властивостей природних іонних рідин нового покоління / В. Воробйова, Г. Васильєв, І. Трус, О. Лінючева // *Технічні науки та технології*. – 2022. – № 2(28). – С. 88-95.

**References**

1. Abbott, A.P., Capper, G., Davies, D.L., McKenzie, K.J., & Obi, S.U. (2006). Solubility of metal oxides in deep eutectic solvents based on choline chloride. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 51(4), 1280-1282.
2. Kovács, A., Neyts, E. C., Cornet, I., Wijnants, M., & Billen, P. (2020). Modeling the physicochemical properties of natural deep eutectic solvents. *ChemSusChem*, 13(15), 3789-3804.
3. Liu, Y., Friesen, J.B., McAlpine, J.B., Lankin, D.C., Chen, S.N., & Pauli, G.F. (2018). Natural deep eutectic solvents: properties, applications, and perspectives. *Journal of natural products*, 81(3), 679-690.
4. Selin Deniz, Ayşe Ezgi Ünlü & Serpil Takaç. (2023). Ultrasound-assisted natural deep eutectic solvent extraction of phenolic compounds from apple pomace, *Separation Science and Technology*, 58(2), 302-313.
5. Cannavacciuolo, C., Pagliari, S., Frigerio, J., Giustra, C.M., Labra, M., Campone, L. (2023). Natural Deep Eutectic Solvents (NADESSs) Combined with Sustainable Extraction Techniques: A Review of the Green Chemistry Approach in Food Analysis, *Foods*, 12(1), 56.
6. Soukaina Kaoui, Bouchra Chebli, Safa Zaidouni, Khadija Basaid, Youssef Mir. (2023). Deep eutectic solvents as sustainable extraction media for plants and food samples: A review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 31, 100937.
7. Vorobyova, V., Sciba, M., Trus, I., Kyrii, S., & Sirenko, S. (2021). Research of component composition and antioxidant properties of tomato processed product extract. *Technical Sciences and Technology*, 1(23), 145–151.
8. Athanasiadis, V., Palaioiannis, D., Poulianiti, K., Bozinou, E., Lalas, S.I., Makris, D.P. (2022). Extraction of Polyphenolic Antioxidants from Red Grape Pomace and Olive Leaves: Process Optimization Using a Tailor-Made Tertiary Deep Eutectic Solvent. *Sustainability*, 14, 6864.

9. Vorobyova, V., Skiba, M., Trus, I., & Vasyliyev, H. (2021). Extraction of tomato pomace with "green" solvents and evaluation of antioxidant properties. *Proceedings of the NTUU "Igor Sikorsky KPI". Series: Chemical Engineering, Ecology and Resource Saving*, (2), 59–65.

10. Panić, M., Gunjević, V., Radošević, K., Cvjetko, Bubalo M., Ganić, K.K., Redovniković, I.R. (2021). COSMOtherm as an Effective Tool for Selection of Deep Eutectic Solvents Based Ready-To-Use Extracts from Graševina Grape Pomace. *Molecules*, 26(16), 4722.

11. Vorobyova, V., Vasyliyev, G., Trus, I., Linyucheva, O. (2022). Electrochemical properties of natural ionic liquids of new generation. *Technical Sciences and Technology*, 2(28), 88–95.

Отримано 14.12.2022

UDC 665

**Viktoriia Vorobyova<sup>1</sup>, Georgii Vasyliyev<sup>2</sup>, Inna Trus<sup>3</sup>,  
Margarita Sciba<sup>4</sup>, Olena Gnatko<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Physical Chemistry  
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [vorobyovavika1988@gmail.com](mailto:vorobyovavika1988@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7479-9140>

ResearcherID: [J-5678-2017](https://orcid.org/0000-0001-7479-9140). Scopus Author ID: [55808771000](https://orcid.org/0000-0001-7479-9140)

<sup>2</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Electrochemical Production Technology  
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [g.vasyliyev@kpi.ua](mailto:g.vasyliyev@kpi.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4056-5551>

ResearcherID: [I-3058-2018](https://orcid.org/0000-0003-4056-5551). Scopus Author ID: [56105504500](https://orcid.org/0000-0003-4056-5551)

<sup>3</sup>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» (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [inna.trus.m@gmail.com](mailto:inna.trus.m@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6368-6933>

ResearcherID: [I-3204-2017](http://orcid.org/0000-0001-6368-6933). Scopus Author ID: [56152219600](http://orcid.org/0000-0001-6368-6933)

<sup>4</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of ecology and technology of inorganic substances  
Ukrainian State University of chemical technology (Dnipro, Ukraine)

E-mail: [margaritaskiba88@gmail.com](mailto:margaritaskiba88@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4634-280X>

ResearcherID: [AAH-8410-2019](https://orcid.org/0000-0003-4634-280X). Scopus Author ID: [57198771281](https://orcid.org/0000-0003-4634-280X)

<sup>5</sup>PhD in Technical Sciences, Assistant of Department of applied mechanics  
Ukrainian State University of chemical technology (Dnipro, Ukraine)

E-mail: [olena.gnatko@gmail.com](mailto:olena.gnatko@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0588-0425>

Scopus Author ID: [55105211700](https://orcid.org/0000-0003-0588-0425)

**EXTRACTION OF POLYPHENOLIC COMPOUNDS  
FROM GRAPE PROCESSING PRODUCTS BY LOW-TEMPERATURE  
EUTECTIC SOLVENT BETAINE-LACTIC ACID**

The development of modern chemical technology and engineering is aimed at the concept of greening. Therefore, the search for effective green solvents for the extraction of natural organic compounds from vegetable raw materials is urgent. The use of DES is appropriate and is of increasing interest due to its environmental, technological, and economic features. DES are prepared from readily available materials with high purities, low cost, nontoxicity, non-flammability, biocompatibility, and biodegradability. In the work, the effect of water on the viscosity of deep eutectic solvent (DES) based on betaine and lactic acid was studied, and an assessment of polyphenolic compounds of grape pomace processing products was carried out with a water content of up to 10 %. When 10 % of water was added to DES, the viscosity decreased from 16,000.00 to 3,500.00 mPa s, when 25 % of water was added, the viscosity decreased exponentially with increasing temperature. Research results showed that water content also affects other physical properties, such as density, with the density of DES decreasing linearly with increasing water content. When performing liquid chromatography-mass-spectrometry during extraction with DES, compared to a traditional solvent, higher peaks are observed, which indicates an increase in the yield of extraction using DES. The main components of grape pomace extract are hydroxycinnamic acids, anthocyanins, anthoxanthins and stilbenes. When determining the influence of the solvent on the composition of the extract, significant differences in the compound profile were found between extraction with a 70 % ethanol solution and extraction using DES. A complex mixture of hydroxycinnamic acids and flavonoids was obtained during extraction with DES, while with a traditional solvent - mainly hydroxycinnamic acids. The extractive capacity of DES can be correlated with their physicochemical properties, including H-bonding interactions, polarity, and pH.

**Keywords:** deep eutectic solvents; extraction; grape pomace; polyphenolic compounds; chemical technologies.

Fig.: 3. Table: 2. References: 11.