

УДК 615.356: 577.161: 612.015.061

**Мельник Вікторія Миколаївна**

*доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри біотехніки та інженерії  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Мельник Виктория Николаевна**

*доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой биотехники и инженерии  
Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Mel'nick Victoria**

*Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Head of the Department of Bioengineering and Biotechnics  
National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

**Ружинська Людмила Іванівна**

*кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри біотехніки та інженерії  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Ружинская Людмила Ивановна**

*кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры биотехники и инженерии  
Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Ruzhinskaya Lyudmyla**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor of Bioengineering and Biotechnics Department  
National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

**Андрук Микола Миколайович**

*магістр  
Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Андрук Николай Николаевич**

*магистр  
Национального технического университета Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Andruk Mykola**

*Master of the  
National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

**УЛЬТРАЗВУКОВА ДЕЗИНТЕГРАЦІЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ  
В ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ КАРОТИНОЇДІВ**

**УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДЕЗИНТЕГРАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ  
В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КАРОТИНОИДОВ**

**ULTRASONIC DISINFECTATION OF PLANTED RAW MATERIAL  
IN THE PRODUCTION OF CAROTINOIDS TECHNOLOGY**

**Анотація.** Наводяться результати напівнатурних випробувань вилучення БАР з рослинної сировини (моркви) за допомогою ультразвукових коливань на установці УЗП-6-1. Доведено, що використання ультразвуку значно прискорює ефективність вилучення БАР з рослинної сировини.

**Ключові слова:** ультразвуковий випромінювач, рослинна сировина, БАР, густина, суспензія, бета-каротин.

**Аннотация.** Приводятся результаты полунатурных испытаний извлечения БАВ из растительного сырья (моркови) с помощью ультразвуковых колебаний на установке УЗП-6-1. Доказано, что использование ультразвука значительно ускоряет эффективность извлечения БАВ из растительного сырья.

**Ключевые слова:** ультразвуковой излучатель, растительное сырье, БАВ, плотность, суспензия, бета-каротин.

**Summary.** The results of half-level tests for the removal of biologically active substances from vegetable raw materials (carrots) are presented with the help of ultrasonic oscillations at the plant УЗП-6-1. It is proved that the use of ultrasound significantly accelerates the efficiency of extraction of biologically active substances from plant material.

**Key words:** ultrasound emitter, vegetative raw material, BAR, density, suspension, beta-carotene.

**Вступ.** Біологічно активні речовини (БАР) — (грец. *bios* — життя, що означає зв'язок із життєвими процесами і відповідає слову «біол.» + лат. *activus* — активний, тобто речовина, яка має біологічну активність) — це сполуки, які внаслідок своїх фізико-хімічних властивостей мають певну специфічну активність. Одним із найдавніших джерел отримання лікарських засобів являються рослини. На даний час з лікарської рослинної сировини (ЛРС) виготовляють різні фітопрепарати в основному за допомогою процесу екстракції біологічно активних речовин тим чи іншим екстрагентом й подальшим очищенням їх від супутніх речовин, якщо це новогаленові препарати, або отриманням сумарних витяжок БАР у вигляді настоек та екстрактів. Та сам процес екстракції БАР з рослинної сировини досить повільний, який може займати декілька діб настоювання. Отже, ця технологічна операція займає більшу частину часу в технології отримання будь-якого фітопрепарату з ЛРС, ніж інші операції. Тому інтенсифікація процесу екстракції — це одна з актуальних технологічних задач, яка потребує теоретичного та практичного вивчення. Одним із перспективних фізичних факторів, які можуть прискорити процес екстракції БАР з рослинної сировини, є ультразвук. Під дією ультразвукових хвиль у рідкому середовищі спостерігаються такі явища, які не притаманні іншим фізичним факторам або ж за інтенсивністю перевищують

їх. Так, під впливом ультразвуку в рідині її частинки можуть переміщуватися десятки тисяч раз на секунду навколо частинок сировини, тим самим «струшуючи» поверхневу рідину з частинок твердої фази як під впливом перемінного потужного ультразвукового тиску, так і гідравлічних ударів у мить схлопування кавітаційних каверн. Ультразвукові хвилі чинять додаткову механічну деформацію частинок, що може призводити до більш швидкого просочування рослинної сировини екстрагентом та подальшої заміни екстрагента в частинках на новий з міжчастинкового простору. Слід відмітити ще одне явище, яке з'являється внаслідок поглинання ультразвуку — розігрівання суміші, що покращує умови екстракції, але вимагає відводити надлишок тепла з екстрактора в разі необхідності [1–3].

**Об'єкт досліджень.** Об'єктом дослідження слугує вплив ультразвукового променя на ефективність вилучення БАР з рослинної сировини.

**Мета і задачі досліджень.** Мета даної роботи полягає в дослідженні процесу вилучення БАР з рослинної сировини за допомогою ультразвукового стелу.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Висушити рослинну сировину (моркву).
2. Провести аналіз ефективності вилучення БАР з рослинної сировини в умовах дії ультразвуку на установці УЗП-6-1.

**Аналіз літературних даних.** Умовно, всі існуючі методи вилучення БАР з рослинної сировини можна розділити на дві групи:

- традиційні технології вилучення;
- перспективні методи інтенсифікації технологічних процесів екстрагування.

За винятком, на більшості підприємств витяг БАР ведеться малоефективними, трудомісткими традиційними методами (мацерація, перколяція, виварювання, настоювання, відварювання і різні способи механічного віджиму) [4–5].

Мацерація і виварювання є найбільш застарілими методами. Мацерація — звичайне вимочування, при якому відбувається розпушення клітинних стінок рослинної сировини і розчинення екстрагованих речовин [6]. Тривалість процесу досягає двох тижнів. Одним з традиційних способів виготовлення екстрактів і настоїв є перколяція. При перколяції або просочуванні, розчинник проходить (просочується) через шар подрібненої сировини і «вимиває» цільові компоненти [7]. У перколяційні процеси можуть вноситися різні варіації. Часто користуються поєднанням процесів настоювання і перколяції.

У даний час процес екстрагування проціджуванням не відповідає завданням інтенсифікації виробництва і застосовується, як правило, для отримання одиничних настоянок.

Відомий вихровий метод екстракції (турбоекстракція), який поєднує інтенсивне перемішування і одночасно подрібнення сировини в середовищі екстракту за допомогою швидкообертаючих мішалок, які мають гострі лопаті. Недолік цього методу — переподрібнення сировини і, як наслідок, ускладнення процесу очищення.

Очевидно, що параметрами, які впливають на швидкість і ступінь вилучення, що піддаються регулюванню в потрібну сторону є: тип екстрагента, ступінь подрібнення, різниця концентрації, температура, тиск, тривалість отримання і гідродинамічні умови в апаратах і камерах [8]. Окремі з перерахованих факторів реалізуються в традиційних способах екстракції.

Для інтенсифікації процесів вилучення використовують вплив на сировину різних силових полів: електричних, ультразвукових, імпульсних, дискретно-імпульсних та ін. Проте, велика частина цих перспективних методів досі перебуває на стадії лабораторних або напівпромислових випробувань. Це прямо вказує на ряд невирішених теоретичних і практичних завдань. Чималу увагу в літературі приділяється екстракційного процесу під дією електричного струму [9]. Оскільки гомогенність рослинної сировини порушена клітинними мембранами, які поділяють внутрішньоклітинні і позаклітинні області, масообмінні процеси в таких системах носять, очевидно, електрохімічний характер. Отже, вони повинні залежати від зовнішнього електричного впливу, і електричний струм, проходячи через обро-

блювану сировину, впливає на проникність мембран та руйнування клітин.

Це, в свою чергу, впливає на процеси масообміну між твердою і рідкою фазами. Дані явища лежать в основі таких процесів, як електроплазмоліз і електродіаліз, які використовують для інтенсифікації вилучення компонентів з рослинної сировини. Використання електроплазмоліза в поєднанні з механічним впливом (різання, пресування, перемішування і т.д.) найбільш ефективно при обробці мезги при виробництві соків, причому підвищується вихід соків і з важко пресованої сировини, наприклад, цукрового буряка.

До нетрадиційних методів обробки рослинної сировини відноситься електродіаліз — дифузія електrolітів через пористу мембрану під дією електричного струму. У процесі електродіалізу досягається зміна іонного складу рідин, що знаходяться між мембранами, а змін агрегатного стану і фазових перетворень в системах не відбувається. Речовини, що входять в оброблювальну сировину, особливо термонестабільні білки, ферменти та ін., залишаються в первісному вигляді. Цей спосіб використовується при отриманні чистих препаратів в невеликих кількостях.

Вивчаючи процес електричних впливів на клітинному рівні, що дія струму може призводити як до збільшення проникної здатності мембран, так і до зворотного ефекту.

Традиційно вважається, що лімітуючою стадією екстрагування є внутрішньо-дифузійний (масообмінний) процес, рушійною силою якого є різниця концентрації в екстрагенті (розчиннику) і розчині речовин, що містяться в клітинних і міжклітинних структурах рослинної сировини.

Тому інтенсифікація процесів вилучення спрямована на прискорення масообміну в системі «рідина — тверда речовина». Перспективним, з точки зору підведення до системи енергії і перетворення її в кінетичну енергію, є метод обробки твердих тіл, які знаходяться в рідині під дією електричних розрядів.

Згодом з'явилися модифікації цього методу: електроімпульсний (наскрізний пробій твердого тіла); електрогідролічний (вплив ударної хвилі, що супроводжує розряд в рідині); мембранний, що виключає вплив випромінювання на об'єкт від каналу розряду і електродинамічний (поєднання наскрізного пробою твердого тіла і ударної хвилі). Розряд в рідині викликає стрибкоподібне зростання температури каналу, утворення парогазової порожнини і її розширення з великою швидкістю, що призводить до утворення імпульсу тиску (гідроудар). При всій привабливості використання іскри в якості «робочого інструменту» ряд авторів відзначає негативні явища при тривалій обробці імпульсами напруги, які проявлялися в порушенні структури деяких БАР.

Перспективним «інструментом» в технології вилучення БАР з рослинної сировини є ультразвук

[10]. Широке застосування ультразвукових методів обумовлено особливостями фізичного та хімічного впливу ультразвуку на речовину. До теперішнього часу створені різноманітні ультразвукові технології процесів розчинення, емульгування, отримання тонкодисперсних суспензій, просочення, акустичного сушіння, миття та очищення різноманітних виробів, засолу харчових продуктів, передпосівної обробки насіння, екстрагування речовин, зварювання термопластичних матеріалів, склеювання деталей, механічної розмірної обробки та ін [11].

**Опис конструкції випробувального стенду, методика досліджень і аналіз результатів.** У якості рослинної сировини було обрано сушену моркву з розміром часток від 10 до 20 мм (рис. 1). У якості екстрагента використовували соняшникову олію. Густина олії  $\rho_o = 872 \text{ кг/м}^3$ , маса олії  $m = 43,6 \text{ гр}$ . Використовували ультразвуковий випромінювач УЗП-6-1 з частотою ультразвукових хвиль 36 кГц, потужність установки 650 Вт (Рис. 2).



Рис. 1. Розмір сушеної моркви

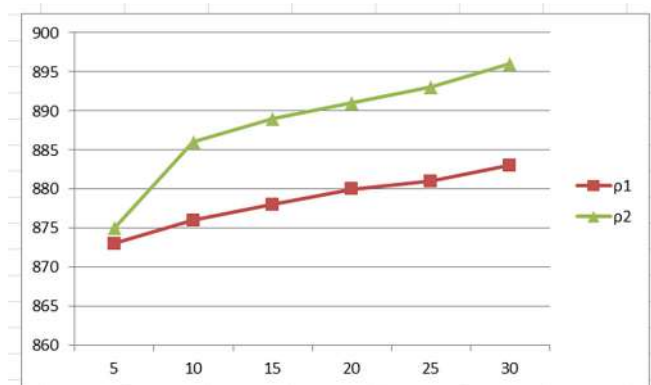


Рис. 2. Графік залежності густини від часу  $\rho_{c1}$  — без ультразвуку,  $\rho_{c2}$  — з ультразвуком

У хімічний стакан об'ємом  $V = 150 \text{ мл}$  заливали 50 мл олії, далі засипали сушену моркву 13 гр. Після чого залишали дану суспензію на столі настоюватися на певний час. Заміряли зміну густини суспензії  $\rho_{c1}$ .

Взяли знову хімічний стакан об'ємом  $V = 50 \text{ мл}$  заливали 50 мл олії, далі засипали сушену моркву 13 гр. Після чого залишили дану суспензію під ультразвуковим випромінювачем (рис. 3). Заміряли зміну густини суспензії  $\rho_{c2}$ .

Результати дослідження занесені до таблиці 1.

Таблиця 1

Зміна густини суспензії під дією ультразвуку та без ультразвуку

t, хв	5	10	15	20	25	30
без ультразвуку $\rho_{c1}$ , кг/м³	873	876	878	880	881	883
з ультразвуком $\rho_{c2}$ , кг/м³	875	886	889	891	893	896

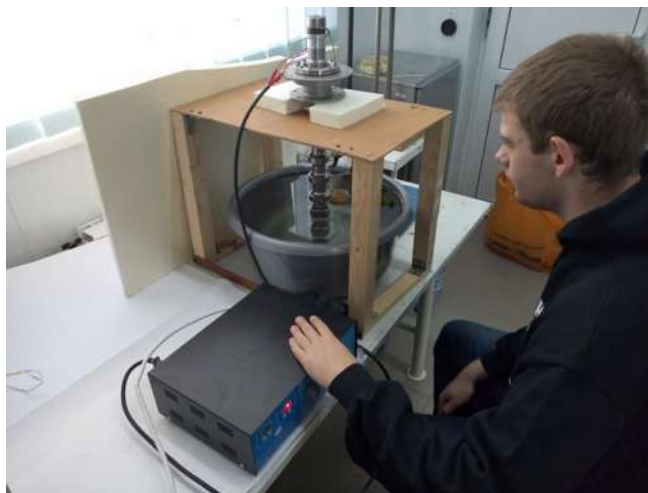


Рис. 3. Ультразвуковий випромінювач в дії

На фото зафіксовано, як змінився колір суспензії під дією ультразвуку (рис. 4, рис. 5).



Рис. 4. Суспензія після 5 хв під ультразвуком



Рис. 5. Суспензія після 30 хв під ультразвуком

Зафіксували колір суспензії без використання ультразвуку (рис. 6).



Рис. 6. Суспензія після 30 хв настоювання без використання ультразвуку

**Висновки.** Можна зробити висновок, що застосування ультразвукової технології значно прискорює ефективність вилучення БАР з рослинної сировини без негативного впливу на БАР, а значить застосування ультразвуку в технології отримання рідких витяжок з рослинної сировини за допомогою ультразвукової екстракції може скоротити час вилучення БАР з сировини до кількох годин у порівнянні зі звичайним настоюванням (мацерацією), яке може тривати добу.

#### Література

1. Романюк Б. П. Лікарські рослини та їх сировина, які містять біологічно активні речовини / Б. П. Романюк, В. М. Фролов, Я. А. Соцька // Проблеми екологічної та медичної генетики і клінічної імунології. — 201. — С. 46–64.
2. Солодухин А. И. Производство и использование витаминов, антибиотиков и биологически активных веществ. Краснодариздат, 1965. — 145 с.
3. Антонюк В. О., Дубицький О. Л. Вивчення вуглеводної специфічності пектинів рослин роду Агіетізія / Укр. біохім. журн. — 2002. — Т. 74, № 4. — С. 114.
4. Карпенко П. О. Проблемы питания и здоровья. В кн. Биологически активные добавки и биопродукты. — К.: Нора-принт, 2000. — С. 3–8.
5. Коршунова Г. Ф. Використання дикорослої сировини Донбасу в якості біологічно активних добавок / Харчові добавки. Харчування здорової та хворої людини. — 2005 — № 3 — С. 181–183.
6. Шубін О. О. «Перспективи використання горобини червоноплідної в харчуванні» / Обладнання та технології харчових виробництв. — Вип. 9. — 2003 — С. 203–208.
7. Пасичный В. Н. Применение бета-каротина в пищевых продуктах / В. Н. Пасичный // Мясной бизнес. — 2006. — № 5. — С. 17–23.
8. Сімахіна Г. О. Функціональна роль каротиноїдів та особливості їх використання у харчових технологіях / Наукові праці НУХТ. — 2010. — № 33. — С. 45–48.
9. Мельник В. М., Карачун В. В., Шибецький В. Ю., Фесенко С. В. Використання комбінованого резонансу на низьких звукових частотах для культивування мікроорганізмів / Технологічний аудит та резерви виробництва. Том 4, № 2(18) (2014). — С. 4–7.
10. Мельник В. М., Карачун В. В. Штучне формування енергетичної активності в біореакторі на резонансному рівні / Technology audit and production reserves. — № 3/4(17), 2014. — С. 11–14.
11. Мельник В. М., Ружинська Л. І., Флоростянко В. С. Побудова математичної моделі процесу розчинення твердих речовин в умовах дії ультразвуку / Технологічний аудит та резерви виробництва. — 2017. — № 1/3(33). — С. 28–33.