

**Максимова Надежда Филлиповна**, доц., кафедра технологій переробки плодів, овочей і молока, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktpptom@mail.ru.

**Maximova Nadegda**, associate professor, department of Technology processing of fruits, vegetables and milk, Kharkov State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivskaya str., 333, Kharkov, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-92; e-mail: ktpptom@mail.ru.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. Ф.В. Перцевим.*

*Отримано 15.10.2016. ХДУХТ, Харків.*

УДК 621.59: 613.229:547.455.65

## **ВПЛИВ ЗАМОРОЖУВАННЯ ТА НЕФЕРМЕНТАТИВНОГО КАТАЛІЗУ НА РУЙНУВАННЯ ГЕТЕРОПОЛІСАХАРИД-БІЛКОВИХ НАНОКОМПЛЕКСІВ ПІД ЧАС ПЕРЕРОБКИ ТОПНАМБУРА**

**Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарська, К.С. Балабай, В.А. Павлюк**

*Вивчено вплив заморожування та неферментативного каталізу на руйнування важкорозчинних гетерополісахарид-білкових наноконкомплексів і трансформацію їх в розчинну форму під час глибокої переробки топінамбура і отримання дрібнодисперсних добавок. Виявлено, що 45...55% наноконкомплексів гетерополісахаридів із білками руйнується до їх окремих мономерів, які знаходяться в наноформі в розмірному діапазоні від 0,5 до 1,5 нанометрів.*

**Ключові слова:** заморожування, неферментативний каталіз, гетерополісахарид-білкові наноконкомплекси, дрібнодисперсні добавки, топінамбур, глибока переробка.

## **ВЛИЯНИЕ ЗАМОРАЖИВАНИЯ И НЕФЕРМЕНТАТИВНОГО КАТАЛИЗА НА РАЗРУШЕНИЕ ГЕТЕРОПОЛИСАХАРИД-БЕЛКОВЫХ НАНОКОМПЛЕКСОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ТОПИНАМБУРА**

**Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарская, Е.С. Балабай, В.А. Павлюк**

*Изучено влияние замораживания и неферментативного катализа на разрушение труднорастворимых гетерополисахарид-белковых наноконкомплексов*

---

© Павлюк Р.Ю., Погарська В.В., Балабай К.С., Павлюк В.А., 2016

*и трансформацию их в растворимую форму при глубокой переработке топинамбура и получении мелкодисперсных добавок. Выявлено, что 45...55% наноконплексов гетерополисахаридов с белками разрушается до их отдельных мономеров, которые находятся в наноформе в размерном диапазоне от 0,5 до 1,5 нанометров.*

**Ключевые слова:** замораживание, неферментативный катализ, гетерополисахарид-белковые наноконплексы, мелкодисперсные добавки, топинамбур, глубокая переработка.

## THE INFLUENCE OF FREEZING AND NON-ENZYMATIC CATALYSIS ON DESTRUCTION OF HETEROPOLYSACCARIDE-PROTEIC NANOCOMPLEXES DURING THE PROCESSING OF TOPINAMBOUR

R. Pavlyuk, V. Pogarska, K. Balabai, V. Pavlyuk

*The influence of freezing and non-enzymatic catalysis on destruction of hardly soluble heteropolysaccharide-proteic Nano complexes and their transformation into the soluble form during the deep processing of topinambour to the fine-dispersed additives is studied. It is determined that 45...55% of heteropolysaccharide-proteic Nano complexes are destructed to their separate monomers in Nano form in dimensional diapason from 0,5 to 1,5 nanometers.*

*It is determined that the activation of inactive hardly soluble forms of pectin substances occurs while the complex effect of cryogenic "shock" freezing and fine-dispersed grinding on topinambour. There is also a more complete (3,0...3,4 times) extraction of these substances from Nano complexes with other biopolymers, including protopectin (2 times more than in raw material). It is controlled by conventional chemical methods. In addition, the production of soluble pectin increases 4,5 times. Generally, 70% of pectin in Nano powders and Nano puree are in a soluble form. The mechanism of this process is associated with non-enzymatic biocatalysis-cryomechanolysis.*

*It is determined that the absorption of Nano additives (Nano puree and Nano powders) from topinambour is 2,7...3 times higher than in raw material. It is revealed with the use of bio test methods of infusorians (using generative activity of unicellular organisms) due to special characteristics of chemical composition, biologically active substances content and dispersed condition of additives. The significant part (60...70%) of substances is in Nano soluble form.*

*Different kinds of health-improving products (dry instant fruit Nano drinks, dry juices (including ones for special contingent), pastries, new types of Nano ice-cream, Bio kefir and Bio yoghurt with prebiotic properties) are developed with the use of Nano additives.*

**Keywords:** freezing, non-enzymatic catalysis, heteropolysaccharide-proteic Nano complexes, fine-dispersed additives, topinambour, deep processing

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Глибока переробка сировини із застосуванням процесів кріомеханодеструкції відкриває можливість більш повного використання біологічного потенціалу рослинної сировини (на 45–55% більше, ніж в разі використання існуючих методів) та виробництва нового покоління натуральних нанопродуктів для здорового харчування. Актуальність розробки нанотехнологій, заснованих на застосуванні процесів кріомеханохімії та кріомеханодеструкції, що дають змогу максимально зберегти та екстрагувати біологічно активні речовини (БАР) вихідної сировини, викликана необхідністю вирішення глобальної проблеми, яка на сьогодні спостерігається в багатьох країнах світу. Ця проблема полягає в незбалансованості та дефіциті (на 50%) в раціонах харчування населення вітамінів, повноцінних білків, мінеральних речовин та інших БАР [1; 2]. Крім того, спостерігається зниження імунітету в населення, обумовлене загальним погіршенням екологічного становища. За даними літератури стан здоров'я населення, а також стан імунної системи людини на 80% залежить від стану кишечника [2–4]. Підтримувати в організмі необхідну рівновагу кишкової мікрофлори допомагають функціональні оздоровчі продукти з пробіотичними властивостями, які містять корисну мікрофлору в активному стані. До таких продуктів відносять квашені овочі (капусту, моркву, буряк), кисломолочні напої (кефір, йогурт, простоквашу) та ін. ферментовані продукти. Крім того, підтримувати в організмі рівновагу допомагають продукти, до складу яких входять пребіотики [2–5]. Вони стимулюють в організмі людини розвиток і метаболічну та біологічну активність однієї або декількох груп власних бактерій, які складають кишкову мікрофлору людини, позитивно впливають на склад мікробіоценозу [4; 5].

У розвинених країнах проблему імунодефіциту вирішують шляхом введення в раціони харчування оздоровчих продуктів і добавок, особливо з плодоовочевої сировини, які відрізняються високим вмістом БАР, що сприяє підвищенню імунітету. Особливе місце серед них поряд з вітамінами антиоксидантного ряду (вітамінами С, Е, β-каротином), фенольними сполуками, мінеральними речовинами займають речовини, що мають пробіотичні властивості. До їх числа належать неперетравлювальні компоненти їжі, насамперед, баластні вуглеводи, зокрема, полісахариди, інулін, пектинові речовини, харчові волокна, білки, хітозани, фруктоолігосахариди, лактулоза та ін. [2–5]. Перспективною сировиною для отримання добавок із пробіотичними властивостями і їх застосування під час виготовлення продуктів оздоровчої дії є топінамбур [2; 6–8]. Його цінність для харчової промисловості визначається, насамперед, вуглеводним складом [9; 10].

Слід зазначити, що 80% сухих речовин у бульбах топінамбура представлені пребіотиком інуліном – єдиним натуральним полісахаридом, що на 95% складається з нешкідливого для діабетиків цукру фруктози [10]. Інулін має форму лінійного полісахариду, основним структурним мономером якого є залишки фруктози, що з'єднані β-фруктозидними зв'язками. Топінамбур також містить пектин, клітковину, білок, широкий спектр мінеральних речовин (калій, кальцій, марганець та ін.), вітамінів (С, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub> та ін.), фенольних сполук та ін.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз даних періодичної літератури за останні 10 років показав, що існуючі технології переробки топінамбура в різні види добавок у формі порошків, паст, борошна, пюре, екстрактів із використанням паротермічної обробки, сушіння, екстракції не дозволяють інулін перевести в легкозасвоювану форму [6; 8; 9; 11]. У зв'язку з цим актуальним є пошук технологічних прийомів, які дозволяють отримати добавки із топінамбура високої якості з максимальним збереженням БАР сировини та перевести інулін у легкозасвоювану форму. Проведений аналіз даних літератури щодо технологій переробки топінамбура в заморожені дрібнодисперсні та порошкоподібні добавки із застосуванням криогенної переробки показав відсутність таких даних у періодичній літературі за останні 10 років [7; 8; 11; 12].

У цьому дослідженні запропоновано під час розробки нанотехнології отримання дрібнодисперсного пюре із топінамбура використовувати більш глибоку переробку сировини, ніж прийнята сьогодні. Як інновацію використовували комплексну дію на сировину криогенного «шокового» заморожування з більш високими швидкостями до більш низьких температур у продукті (до -35...-40°C), ніж прийнято в міжнародній практиці та низькотемпературного дрібнодисперсного подрібнення. Зазначені прийоми супроводжуються процесами криомеханодеструкції (криомеханохімії, механоактивації, криодеструкції) [12; 13]. Під криомеханодеструкцією автори праці розуміють новий технологічний прийом, що включає дію заморожування та механічного подрібнення і призводить до деградації, руйнування, деструкції рослинних клітин, нанокомплексів та наноасоціатів різних важкорозчинних речовин (інгредієнтів), які в них знаходяться. У результаті відбувається більш повне вилучення із сировини цінних компонентів. Зазначений технологічний прийом є альтернативою ферментативній обробці рослинної сировини. Слід зазначити, що застосування процесів криомеханодеструкції знайшло свою реалізацію в таких галузях промисловості, як хімічна, металургійна, текстильна, авіаційна в Японії, Росії, Казахстані. Так,

наприклад, використання процесів кріо- і механохімії дозволило розробити технології порошкової металургії, технології пластмас, що не дряпаються, технології текстильної продукції з водо- та брудовідштовхуючими властивостями. У харчовій промисловості, як в Україні, так і в інших країнах, ці процеси майже не вивчені [13; 14].

Проведений аналіз даних періодичної наукової літератури за останні 10 років, які стосуються вивчення процесів кріомеханодеструкції з використанням кріообробки та дрібнодисперсного подрібнення під час переробки рослинної сировини, в тому числі і топінамбура, в науковій літературі, за винятком праць авторів статті, відсутні [6; 14; 15]. Так, у Харківському державному університеті харчування та торгівлі (Україна) фахівцями кафедри технологій переробки плодів, овочів і молока запропоновано та розроблено кріогенний спосіб обробки та нанотехнології отримання нанопюре та нанопорошків із топінамбура з використанням рідкого та газоподібного азоту. Вперше в міжнародній практиці було виявлено, що за комплексної дії на сировину кріогенного шокового заморожування та дрібнодисперсного низькотемпературного подрібнення відбувається не тільки повне збереження всіх БАР, але й їх більш повне вилучення із сировини з прихованих зв'язаних форм з біополімерами (білками, гетерополісахаридами) наноконкомплексів та наноасоціатів і трансформація у вільний стан. Масова частка БАР в 1,8...2,3 разу більше, ніж у вихідній сировині. Паралельно виявлено, що під час кріообробки та дрібнодисперсного подрібнення топінамбура відбувається часткове руйнування інуліну до його окремих мономерів – фруктози (на 45...55%), білка – до вільних амінокислот (на 43...55%), целюлози – до цукрів (на 43...55%). Це свідчить про руйнування важкорозчинних біополімерів та їх трансформацію у легкозасвоювану нанорозмірну форму. Проте в наведених статтях є тільки припущення стосовно механізму впливу кріообробки та дрібнодисперсного подрібнення на наноконкомплекси біополімерів (білків та гетерополісахаридів). Не вивчені конформаційні зміни молекул білків, наноконкомплексів гетерополісахаридів разом з білками та їх трансформація в розчинну легкозасвоювану форму. Не вивчені процеси активації прихованих неактивних форм протопектину і їх трансформації в розчинну форму. Також не вивчено вплив зазначених процесів на ступінь засвоюваності нанодобавок із топінамбура порівнянно з традиційно виготовленими добавками з використанням сучасного методу біотестування. У зв'язку з цим вивчення закономірностей і механізмів впливу процесів глибокої переробки сировини, що засновані на використанні процесів кріомеханоактивації, кріомеханодеструкції на наноконкомплекси гетерополісахарид-білок, а

також біополімери (білки, гетерополісахариди, зокрема пектин) під час розробки нанотехнології отримання заморожених добавок у формі поре – пребіотиків із топінамбура в нанорозмірній формі – є актуальним.

Унаслідок цього теоретично цікавим та практично цінним є проведення фундаментальних досліджень можливості більш повного використання біологічного потенціалу вуглеводмісної сировини (зокрема, топінамбура), що відрізняється значним вмістом важкорозчинних біополімерів (інуліну, пектинових речовин, целюлози, білка). Ці речовини утворюють між собою наноконплекси та наноасоціати. Тому, їх відносять до неперетравлювальних компонентів їжі, які важко вилучити в розчинну форму в процесі технологічної обробки. Для цього використовували комплексну дію на сировину криогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення, які супроводжуються процесами активації та кріомеханодеструкції – кріомеханолізу (неферментативного каталізу полімерів та наноконплесів біополімерів із БАР) вихідної рослинної сировини.

**Мета статті** – вивчення впливу процесів кріомеханодеструкції на активацію і руйнування біополімерів та гетерополісахарид-білкових наноконплесів під час розробки криогенної нанотехнології нанопорошків та замороженого нанопоре із топінамбура. Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

- вивчити вплив комплексної дії на сировину криогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення на трансформацію зв'язаних амінокислот білка у вільну форму та конформаційні зміни молекул білка топінамбура (форму, об'єм, радіус, радіус ядра молекули, показник заповнення ядра гідрофобними та гідрофільними залишками амінокислот);

- вивчити вплив процесів кріомеханодеструкції на активацію гетерополісахаридів (пектинових речовин) топінамбура та вивільнення їх з прихованої (неактивної) форми із наноконплесів з біополімерами та їх руйнування і трансформацію із важкорозчинної форми у розчинну;

- вивчити вплив кріообробки сировини, дрібнодисперсного подрібнення, кріодеструкції на біологічну активність (ступінь засвоєваності) нанопорошків та замороженого нанопоре із топінамбура з використанням експрес-методу біотестування;

- порівняти якість нанодобавок із топінамбура з аналогами та визначити напрями їх використання в продуктах оздоровчого та масового харчування.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У Харківському державному університеті харчування та торгівлі (Україна) запропоновано

та розроблено технологію нанопорошків із топінамбура з використанням рідкого та газоподібного азоту на стадії криогенного заморожування. Дослідження проведені в ХДУХТ на кафедрі технологій переробки плодів, овочів і молока на базі науково-дослідної лабораторії «Інноваційні крио- та нанотехнології рослинних добавок та оздоровчих продуктів», яка має сучасне обладнання: криогенний заморожувач із комп'ютерним забезпеченням (виготовлений у експериментальному цеху Фізико-технічного інституту низьких температур НАН України), низькотемпературний подрібнювач (Франція), вакуумна сублимаційна сушарка (виготовлена в експериментальному підрозділі УкрНДІ проблем кріобіології та кріомедицини АМН України в експортному виконанні) та ін. Дослідження також проводились на кафедрі технологій консервування в НУХТ.

Приведені в цій статті наукові результати є продовженням праці авторів «Створення та впровадження прогресивних технологій та ефективного обладнання нових функціональних оздоровчих харчових продуктів», яка в 2006 році була удостоєна Державної премії України в галузі науки і техніки [6].

Критерієм оцінки процесів механохімії під час розробки криогенної технології нанопорошків із топінамбура було визначення хімічних речовин у рослинній вихідній сировині і готових добавках, зокрема:

– інуліну, фруктози, білка, зв'язаних і вільних амінокислот, загального пектину, протопектину, розчинних пектинових речовин, целюлози, органічних кислот, та ін.

– L-аскорбінової кислоти, низькомолекулярних фенольних сполук (оксикоричних кислот), флавонолових глікозидів, катехинів), дубильних речовин.

За ступенем збереженості перелічених хімічних речовин і їх перетворень робили висновок про інтенсивність протікання механохімічних процесів, які відбувались під час глибокої обробки сировини за допомогою криогенного «шокового» заморожування, дрібнодисперсного механічного подрібнення та сушіння.

Головним під час розробки нанотехнологій рослинних добавок із топінамбура з використанням криогенного шокового заморожування та дрібнодисперсного подрібнення було збільшення ступеня вилучення із сировини прихованих зв'язаних форм БАР з біополімерами у вільний стан, а також часткове трансформування важкорозчинних полісахаридів, олігосахаридів та білків в розчинну форму. Це виявляється можливим за рахунок криодеструкції і кріомеханоактивації, а також механолізу. Отримані рослинні добавки у формі нанопорошків та нанопоре порівняно з традиційними

порошками та пюре є більш технологічними. Вони краще розчиняються та диспергуються у воді і утворюють однорідну гомогенну суспензію. Частинки нанопорошків не відчуються під час споживання і утворюють гелієву структуру у водних розчинах. Вивчення процесів механохімії, які відбуваються під час дрібнодисперсного подрібнення добавок із топінамбура, свідчить про те, що комплексна дія заморожування та механічного подрібнення призводить до руйнування біополімерів білка до окремих мономерів. Ураховуючи це, можна було припустити, що зазначені технологічні прийоми можуть викликати конформаційні зміни молекул, стирання молекул, зміни їх об'єму, форми, зменшення молекулярної маси. Відомо, що молекула білка складається із гідрофобного ядра та гідрофільних оболонок, і форма молекул залежить від співвідношення гідрофільних і гідрофобних залишків амінокислот. Гідрофільні амінокислоти визначають колоїдні властивості білків та їх здатність утворювати гелі. Це має велике значення в разі використання рослинних порошків під час виготовлення різних харчових продуктів. Так, виготовлені з їх застосуванням сухі суміші для соків та нанопаїв повинні під час відновлення у воді утворювати стабільну колоїдну суспензію, що не розшарується. Тому за дрібнодисперсного подрібнення паралельно із зменшенням масової частки зв'язаних амінокислот у біополімерах білка можуть відбуватися конформаційні зміни молекул білка, такі як перерозподіл співвідношення між гідрофільними і гідрофобними амінокислотними залишками. Це може призвести до змін не тільки об'єму, але і форми білкової молекули, залежно від того, які із амінокислотних залишків (гідрофільні чи гідрофобні) переважно залишились в зв'язаному стані. У зв'язку з цим у завдання цієї праці входило вивчення впливу дрібнодисперсного подрібнення на масову частку і співвідношення полярних (гідрофільних) і неполярних (гідрофобних) залишків амінокислот біополімерів, а також конформаційних змін молекул білків висушеного топінамбура і нанопорошків із нього. Виявити конформаційні зміни молекул білка під час отримання дрібнодисперсних нанопорошків із топінамбура дозволяє метод Фішера Е. Г. Для цього необхідно визначити масову частку зв'язаних і вільних амінокислот у вихідній сировині – топінамбурі і в нанопорошках з нього (табл. 1). Потім масову частку амінокислот, що знаходяться у зв'язаному стані, перерахувати на 100 г білка. Одночасно провести розподіл амінокислот на гідрофобні та гідрофільні залишки, визначити їх суми та співвідношення між сумою гідрофільних залишків амінокислот та гідрофобних. Крім того, за відомими коефіцієнтами розрахувати ступінь гідрофобності зв'язаних амінокислот білка. Показано, що під час кріомеханодеструкції відбувається руйнування молекул білка (на 45...55%) до окремих



амінокислот, тобто відбувається часткове руйнування молекул білка і трансформація зв'язаних амінокислот у легкозасвоювану форму (табл. 1).

Таблиця 1

**Вплив кріомеханодеструкції на руйнування молекул білка і трансформацію зв'язаних амінокислот у вільні під час отримання нанопорошків**

Амінокислота	Масова частка амінокислот білка, %		ΔF, кДж/моль	Ступінь гідрофобності зв'язаних амінокислот білка (ΔF, кДж/моль)	
	висушеного топінамбура	дрібно-дисперсного нано-порошку із топінамбура		висушеного топінамбура	дрібно-дисперсного нано-порошку із топінамбура
Гідрофільні залишки амінокислот					
Аспарагінова к-та	8,85	11,99	2,26	20,09	27,09
Аланін	3,39	4,13	3,05	10,34	12,59
Глутамінова к-та	10,28	13,22	2,50	25,70	33,05
Аргінін	6,39	7,84	3,05	19,48	23,91
Треонін	2,02	2,37	1,84	3,72	4,36
Цистін	1,10	1,15	2,71	2,98	3,12
Серін	2,10	2,54	0,17	0,36	0,43
Гліцин	2,02	2,01	0,0	0,00	0,00
Сума:	36,15	45,25	–	82,67	104,55
Гідрофобні залишки амінокислот					
Лізин	8,68	9,14	6,27	54,23	57,37
Метіонін	4,78	5,09	5,45	25,94	27,80
Триптофан	0,89	1,20	12,50	10,88	15,13
Валін	3,77	3,94	7,06	26,51	27,88
Фенілаланін	6,36	7,04	11,10	70,37	78,26
Ізолейцин	8,33	5,72	12,40	102,92	71,05
Лейцин	7,50	5,70	10,10	75,45	57,67
Тирозин	9,39	6,14	12,00	112,44	73,80
Пролін	2,52	2,79	10,85	27,13	30,49
Гістидин	11,63	7,99	5,85	67,86	46,80
Сума:	63,85	54,75	–	573,73	486,25


Встановлено, що гідрофільні і гідрофобні властивості висушеного топінамбура і нанопорошку із нього значно відрізняються. Так, наприклад, масова частка гідрофільних залишків амінокислот нанопорошку із топінамбура на 12,6% більше, ніж вихідного висушеного топінамбура. Відповідно масова частка гідрофільних залишків амінокислот 100 г білка нанопорошку становить 45,25 г, а в сировині – 36,15 г. Паралельно зменшується масова частка гідрофобних залишків у нанопорошку (на 8,6%). Відповідно масова частка гідрофобних залишків амінокислот в 100 г білка нанопорошку становить 54,75 г, у вихідній сировині – 63,85 г. При цьому ступінь гідрофобності зв'язаних амінокислот білка ( $\Delta F$ , кДж/моль) дрібнодисперсного порошку із топінамбура зменшувалася на 10%. Показано також, що після дрібнодисперсного подрібнення співвідношення суми полярних до суми неполярних залишків у білкових молекулах нанопорошку із топінамбура порівняно з вихідною сировиною збільшується з 0,57 до 0,83. Це свідчить про збільшення площі поверхні гідрофільної оболонки білкової молекули і про паралельне зменшення заповнення ядра молекули гідрофобними залишками. Використовуючи отримане співвідношення в молекулі білка полярних та неполярних залишків амінокислот, відповідно до методу Е. Г. Фішера було розраховано радіус, об'єм і форму білкової молекули, а також радіус її ядра та показник заповнення ядра гідрофобними залишками. Установлено, що комплексна дія на рослинну сировину (топінамбур) криогенного шокowego заморожування та низькотемпературного подрібнення призводить до зменшення радіуса, об'єму білкової молекули, радіуса і показника заповнення ядра гідрофобними залишками (табл. 2). Встановлено, що при цьому відбувається зміна форми білкових молекул вихідної сировини. Так, наприклад, радіус білкової молекули дрібнодисперсного нанопорошку із топінамбура на 30% менше радіуса молекули білка висушеного топінамбура (вихідної сировини) і становить  $0,2304 \times 10^{-2}$  мкм (порівняно з  $0,3275 \times 10^{-2}$  у вихідній сировині), а її об'єм – в 1,7 разу менше і становить  $0,074 \times 10^{-6}$  мкм<sup>3</sup> порівняно з  $0,012 \times 10^{-5}$  мкм<sup>3</sup> у вихідній сировині. Радіус ядра молекули зменшується в 1,5 разу і в 5,7 разу – показник заповнення ядра гідрофобними залишками (табл. 2).

Отримані дані дозволили встановити форму білкової молекули, відповідно до методу Фішера, вихідної сировини та нанопорошків. Показано, що білкові молекули висушеного топінамбура мають форму витягнутих еліпсоїдів (табл. 2), а під час отримання нанопорошків набувають вигляду надмолекулярних структур. Це свідчить про те, що під час отримання нанопорошків із топінамбура сумарна площа поверхні білкових глобул, які мають форму надмолекулярних

структур, значно більша площі поверхні білкових молекул вихідної сировини у формі витягнутих еліпсоїдів. Це сприяє кращому засвоюванню організмом, збільшенню розчинення білків та здатності до гелеутворення. Отримані результати дозволять по-новому уявити вплив процесів глибокої переробки сировини з використанням кріогенного шокowego заморожування та дрібнодисперсного подрібнення на перетворення і трансформацію в розчинну наноформу біополімерів рослинної сировини.

Таблиця 2

**Вплив комплексної дії кріогенного шокowego заморожування, сушіння та дрібнодисперсного подрібнення на конформаційні зміни білкових молекул вихідного топінамбура під час отримання із нього нанопорошку**

Показники	Топінамбур	
	вихідний висушений топінамбур	нанопорошок із топінамбура
Вміст полярних залишків амінокислот, $C_p$	36,15	45,25
Вміст неполярних залишків амінокислот, $C_{np}$	63,85	54,75
Співвідношення $C_p / C_{np}$	0,57	0,83
Радіус глобули, $r_o$ , мкм	$0,2705 \cdot 10^{-2}$	$0,1816 \cdot 10^{-2}$
Радіус ядра глобули, $r$ , мкм	$0,3275 \cdot 10^{-2}$	$0,2304 \cdot 10^{-2}$
Об'єм глобули, $V$ , мкм <sup>3</sup>	$0,012 \cdot 10^{-5}$	$0,074 \cdot 10^{-6}$
Показник заповнення ядра молекули гідрофобними, (b) за графіком	1,48	0,26
Форма білкової молекули	 витягнутий еліпсоїд	 надмолекулярні структури

Таким чином показано, що використання дрібнодисперсного механічного подрібнення під час отримання нанопорошків із топінамбура призводить до механодеструкції і руйнування біополімерів білка, їх більшого засвоєння організмом, збільшення розчинності білків та більшої здібності до гелеутворення.

Наступним завданням дослідження було вивчення впливу процесів кріомеханодеструкції (кріогенного заморожування та низькотемпературного дрібнодисперсного подрібнення) на активацію,

вилучення і трансформацію пектинових речовин топінамбура у розчинну активну форму, тобто більш повне екстрагування зв'язаних форм пектинових речовин із асоціатів і їх наноконкомплексів з біополімерами у вільну, активну форму. Слід зазначити, що в рослинній сировині, в тому числі в топінамбурі, пектинові речовини знаходяться в неактивній формі. Як наслідок цього – мають низькі желюючі та адсорбційні властивості. Це пов'язано з тим, що більшість карбоксильних груп полісахаридного ланцюга пектину в рослинній сировині вже зв'язані або з іонами металів (більш всього з Mg та Ca), або з залишками метилового і етилового спиртів. Крім того, доступу до карбоксильних груп пектинів перешкоджають інші полімерні (арабани і галактани) і мономерні молекули полісахаридів та ін. Існуючі сьогодні методи активації вилучення пектинових речовин із наноконкомплексів і наноасоціатів фруктів, овочів не дали бажаних результатів.

Значний теоретичний та практичний інтерес представляє розробка технологій рослинних добавок, в тому числі із топінамбуру з активацією пектинових речовин і отриманням харчових добавок із підвищеними желюючими властивостями та сорбційними здібностями, що дозволить більш повно використати нативні властивості всього вуглеводного комплексу сировини в якості структуроутворювачів, загусників та детоксикантів.

У цій праці встановлено, що за високих (2, 5, 10, 20°C/хв) та повільних (0,1; 0,2; 0,5°C/хв) швидкостях заморожування до різних кінцевих температур у продукті (зокрема -18...-20°C) та до більш низьких температур у продукті -32...-35°C під час подальшого дрібнодисперсного подрібнення (з використанням процесів кріомеханодеструкції і кріомеханоактивації) топінамбура відбувається більш повне вилучення пектину із зв'язаного стану з іншими біополімерами та наноконкомплексами у вільну активну форму (розчинну форму) (табл. 3). Виявлено, що відбувається суттєва деградація і кріодеструкція протопектину і трансформація його з неактивної в активну розчинну форму. Встановлено, що під час отримання нанопоре із топінамбура відбувається більш повне екстрагування із наноконкомплексів масової частки пектинових речовин у 3,0...3,4 разу більше, ніж у вихідній сировині, в тому числі протопектина (в 2 рази) та його значна трансформація в розчинний пектин (в 4,5 разу більше). Взагалі в нанопоре і нанопорошку із топінамбура 70% пектинових речовин знаходяться в розчинній формі.

Під час отримання нанопорошків із топінамбура відбуваються ті ж закономірності з активацією і трансформацією важкорозчинних наноконкомплексів пектинових речовин в розчинну форму, як і під час отримання замороженого нанопоре.

Таблиця 3

**Вплив кріогенного шокового заморожування та дрібнодисперсного подрібнення топінамбура на активацію важкорозчинних наноконкомплексів пектинових речовин і їх трансформацію із неактивної в активну розчинну форму під час отримання добавок у вигляді нанопюре і нанопорошку**

Найменування показника	Свіжий топінамбура	Заморожені шматочки топінамбура	Заморожене дрібнодисперсне пюре із топінамбура	Висушені шматочки топінамбура	Дрібнодисперсні нанопорошки із топінамбура
пектинові речовини, %	1,9	2,7	6,5	10,8	30,0
протопектин, %	1,2	1,2	2,0	4,8	10,4
розчинний пектин, %	0,7	1,5	4,5	6,0	23,0
органічні кислоти, %	0,4	0,6	1,0	2,4	4,0

Таким чином, в результаті експериментів встановлено, що використання кріозаморожування, кріомеханодеструкції та процесів кріомеханоактивації призводить до повного вилучення пектинових речовин з неактивної форми в активну, тобто із зв'язаного стану в наноконкомплексах з іншими біополімерами у вільну розчинну форму (в 3,0–3,4 разу більше, ніж у вихідній сировині) і трансформації (або руйнування протопектину) в розчинну форму (в 4,5 разу більше, ніж у вихідній сировині). Механізм більш повного вилучення пектинових речовин із наноконкомплексів та наноасоціатів рослинної сировини пов'язаний із їх кріомеханокрекінгом (руйнуванням) та неферментативним біокаталізом – кріомеханолізмом.

Відомо, що розчинні пектини більш високометоксильовані і підвищують ступінь етерифікації та кількість утворення водневих та іонних зв'язків. У зв'язку з цим можна припустити, що збільшуються і желуючі властивості дрібнодисперсних заморожених добавок із плодів, які виробляються з використанням кріогенного заморожування та процесів механоактивації та механодеструкції.

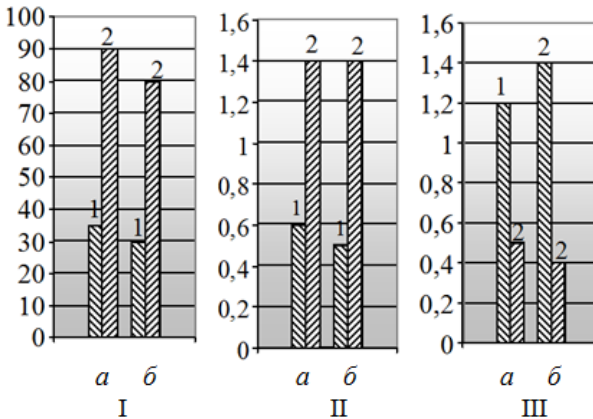
Отримані дані дозволяють по-новому уявити процес активації і більш повного вилучення пектинових речовин із неактивної прихованої форми в розчинну, легкозасвоювану форму, що дозволяє більш повно використовувати закладений у рослинній сировині біологічний потенціал.

Отримані нанодобавки (заморожені нанопюре і нанопорошки) із топінамбура знаходяться в наноформі порівняно з традиційно подрібненими добавками. Припускаємо, що їх засвоюваність і біологічна активність може бути значно кращою і відрізнятися від традиційних добавок. У дослідженні також вивчено вплив кріообробки сировини, дрібнодисперсного подрібнення, процесів кріодеструкції на біологічну активність (ступінь засвоюваності) замороженого нанопюре й нанопорошків із топінамбура порівняно з традиційно подрібненою сировиною з використанням експрес-методу біотестування.

Як об'єкти дослідження використовували:

- грубоподрібнені добавки із свіжого та висушеного топінамбура з розміром частинок 50...250 мкм;
- дрібнодисперсні заморожені нанопюре та нанопорошки.

При цьому в дослідних інкубаційних живих тест-системах паралельно контролювали концентрацію розчинних та нерозчинних харчових та біологічно активних речовин (рис. 4).



**Рис. 4.** Вплив ступеня дрібнодисперсного подрібнення і кріодеструкції під час отримання замороженого нанопюре і нанопорошків із топінамбура на генеративну активність парамецій (приріст молодих форм, %) (I) і концентрації розчинних (II) і нерозчинних речовин (III) в біотест-системах; 1 – грубоподрібнені пюре і порошки; 2 – нанопюре (а) та нанопорошки (б)

Порівняння генеративної активності в тест-системах інфузорій з використанням грубоподрібненого пюре і порошків та нанопюре і нанопорошків із топінамбура показало, що використання нанодобавок призводить до значного збільшення генеративної активності в

2,7...3 рази порівняно з грубоподрібненими (традиційними продуктами). Так, приріст молодих форм у тест-системах інфузорій з грубоподрібненими добавками із топінамбура складала 30...35%, з дрібнодисперсними нанодобавками – 85...90%. Показано, що за використання нанодобавок у інкубаційну систему потрапляє в 2...2,4 рази більше розчинних речовин і менше важкорозчинних (також 2...2,3 рази менше).

Таким чином, за допомогою метода біотестування тест-культур інфузорій (за генеративною активністю одноклітинних) показано, що порівняно із грубодисперсно подрібненим топінамбуром засвоюваність нанопюре і нанопорошків із топінамбура в 2,7...3 рази краща. Це пов'язано з більш високим вилученням із сировини (екстракцією) розчинних біологічно активних та харчових речовин, які знаходяться в нанорозчинній формі за дрібнодисперсного подрібнення.

Таким чином, для забезпечення організму людини біологічно активними та харчовими речовинами топінамбур краще споживати у вигляді дрібнодисперсного пюре, в якому всі споживчі речовини знаходяться в легкозасвоюваній формі, ніж традиційно подрібнений свіжий топінамбур. Крім того, отримані результати свідчать про те, що відбувається значно повніше використання біопотенціалу, закладеного в рослинній сировині.

Встановлено, що добавки із топінамбура (нанопюре та нанопорошки) за хімічним складом, вмістом БАР і дисперсним станом перевищують відомі світові аналоги і мають принципово новий хімічний склад, ніж отримані за традиційною технологією. Значна частина речовин (на 60...70%) знаходиться в нанорозчинній формі (табл. 4).

Так, наприклад, важкорозчинні біополімери (білки, інулін, целюлоза) топінамбура трансформувалися на 45,0...55,0% в розчинну форму у вигляді окремих мономерів (фруктози, вільних  $\alpha$ -амінокислот, глюкози), які мають нанорозмірну форму. Нанопорошки відрізняються від аналогів високим вмістом фруктози (до 25,0%) і фруктоолігосахаридів. Крім того, вони відрізняються високим вмістом низькомолекулярних фенольних сполук (в 5 разів більше, ніж в аналогах), флавонолових глікозидів в нанопорошках в 9...10 разів більше, ніж в аналогах, а дубильних речовин – в 2,5...6 разів.

Таким чином, використання кріомеханодеструкції (кріогенного заморожування та дрібнодисперсного подрібнення) дозволяє отримати якісно нові добавки у формі замороженого нанопюре та нанопорошків із топінамбура з рекордним вмістом БАР та біополімерів в легкозасвоюваній наноформі, які неможливо отримати за допомогою

Таблиця 4

**Вміст біологічно активних та пребіотичних речовин (інуліну, пектину, білка, фенольних та поліфенольних сполук) у нанопюре та нанопорошках із топінамбура порівняно з аналогами (n=3)**

Найменування показника	Свіжий топінамбур	Нано-пюре із топінамбура	Нано-порошок із топінамбура	Аналог – порошок із топінамбура конвективного вакуум-імпульсного (КВІ) сушіння	Аналог – порошок із топінамбура конвективного сушіння
Інулін, %	12,8±0,5	6,4±0,1	25,6±1,5	9,75±0,1	20,1±1,3
Фруктоза, %	–	7,4±0,2	25,6±1,5	0,0	0,0
Білок, %	1,2±0,01	1,4±0,1	9,1±0,2	8,9±0,1	8,5±0,1
Зв'язані амінокислоти білку, мг в 100 г	1664,0	925,0	3698,0±0,2	–	–
Вільні амінокислоти білку, мг в 100 г	350,0	1353,0	5415,0±0,2	–	–
Загальний пектин, %	1,9	6,5	30,0	9,2±0,1	8,0±0,1
Протопектин, %	1,2	2,0	10,4	–	–
Розчинний пектин, %	0,7	4,5	23,0	–	–
Загальний цукор, %	4,4±0,1	5,6±0,2	23,7±1,4	10,2±0,2	12,6±0,2
Вітамін С, мг в 100 г	10,3±0,1	19,8±0,5	78,2±2,4	16,4±1,1	12,2±0,3
Фенольні сполуки (за хлороген. к-тою), мг в 100 г	350,0±5,7	700,0±10,4	2800,0±12,4	640,0±10,2	520,0±12,4
Флавонолові глікозиди (за рутином), мг в 100 г	240,0±4,8	460,0±7,8	1800,0±12,4	200,0±5,2	162,0±2,6
Дубильні речовини, мг в 100 г	300,0±6,4	540,0±6,8	2160,0±14,0	840,0±10,2	360,0±11,7
Зольність, %	1,6±0,1	1,6±0,1	6,8±0,2	6,0±0,2	5,9±0,1
Органічні кислоти, %	0,3±0,01	0,4±0,01	2,0±0,1	0,8±0,1	0,65±0,1
Волога, %	76,4±1,2	75,5±0,1	5,5±0,1	7,9±0,1	7,3±0,1



традиційних методів переробки рослинної сировини. Відповідно до хімічного складу нові добавки (заморожене нанопюре та нанопорошки) із топінамбура мають потенційну пребіотичну, імуномодулюючу, протипухлинну та детоксикуючу дію.

Отримані експериментальні дані, які представлені в статті, послужили базою під час розробки кріогенної нанотехнології із топінамбура у вигляді заморожених нанопюре та нанопорошків.

Нові технології пройшли апробацію у виробничих умовах в НПП «КРІАС» (м. Харків, Україна) та НПП «ФІПАР» (м. Харків, Україна), розроблено нормативну документацію (ТУ У 15.3–01566330–304 та ТІ). На їх основі розроблено нові види оздоровчих продуктів (сухі швидкорозчинні фруктові «Instant» нанонапої, сухі соки (в тому числі для спецконтингенту), кондитерські вироби, нові види наноморозива, біокефіри і біойогурти з пребіотичними властивостями та ін.).

Досліджено вплив кріомеханодеструкції на активацію гетерополісахарид-білкових наноконкомплексів, які в сировині знаходяться в неактивній зв'язаній формі, під час розробки нанотехнологій рослинних добавок, зокрема, пюре і порошоків із топінамбура.

Перевагами дослідження є те, що внаслідок комплексного використання кріообробки сировини і механодеструкції відбувається руйнування наноконкомплексів і біополімерів і їх трансформація з прихованої зв'язаної форми в розчинну легкозасвоювану форму – наноформу. Крім того, позитивним ефектом від впливу процесів кріомеханодеструкції є те, що за кріогенного шокowego заморожування, сублімаційного сушіння та дрібнодисперсного подрібнення топінамбура під час отримання нанопюре та нанопорошків відбувається не тільки збереження всіх БАР, але й їх більш повне вилучення із прихованих зв'язаних форм біополімерів (білків, полісахаридів, олігосахаридів та ін.), які знаходяться у формі наноконкомплексів та наноасоціатів і трансформація їх у вільний стан (розчинну форму). Це дає змогу отримати рослинні добавки з принципово новим хімічним складом і високими споживчими властивостями, які, в свою чергу, можуть бути використані під час розробки функціональних оздоровчих продуктів масового харчування, таких як сухі швидкорозчинні фруктові «Instant» нанонапої, сухі соки, кондитерські вироби, нові види наноморозива, біокефіри і біойогурти з пребіотичними властивостями та ін.

До недоліків та особливостей переробки топінамбура в порошок, сиропи, пюре можна віднести наявність в цій сировині активної окислювальної ферментативної системи (зокрема, поліфенолоксидази, оксидази та ін.), що призводить до її потемніння.

У дослідженні за допомогою застосування таких технологічних прийомів, як кріогенне шокове заморожування з високими швидкостями заморожування до більш низьких температур у продукті та дрібнодисперсне подрібнення, цю проблему вдалось вирішити. Проте в подальшому планується також пошук і інших способів інактивування окислювальних ферментів, а саме шляхом регулювання рН середовища та ін.

Розвитком і продовженням досліджень у цьому напрямі є розширення асортименту продуктів із використанням запропонованих заморожених нанопоре та нанопорошків із топінамбура, а саме розробка продукції для спецконтингенту (туристів, космонавтів, підводників, воїнів зони АТО, тощо). Крім того, інтерес представляє подальше проведення мікробіологічних, спектроскопічних, хроматографічних досліджень нових видів продукції та добавок, а також вивчення їх сумісності з іншими інгредієнтами їжі, підбір доз та технологічних режимів внесення інулінвмісних рослинних добавок.

**Висновки.** Встановлено, що заморожування та кріомеханодеструкція призводять до неферментативного біокаталізу – механолізу молекул білка до окремих мономерів – вільних амінокислот (на 45...55%), їх конформаційних змін. Виявлено, що співвідношення суми гідрофільних до гідрофобних залишків амінокислот у білкових глобулах нанопорошків топінамбура порівняно з вихідною сировиною збільшується на 40%. Це свідчить про збільшення площі поверхні гідрофільної оболонки білкової глобули і про паралельне зменшення заповнення ядра глобули гідрофобними залишками. Встановлено також, що відбувається зменшення радіуса, об'єму білкової глобули, радіуса ядра і показника заповнення ядра гідрофобними залишками та форми білкової молекули. Виявлено механізми зазначених процесів, які пов'язані з механокрекінгом.

Встановлено, що під час комплексної дії на топінамбур кріогенного шокowego заморожування і дрібнодисперсного подрібнення відбувається активація важкорозчинних неактивних форм пектинових речовин і більш повна їх екстракція із наноконкомплексів з іншими біополімерами в 3,0...3,4 рази, в тому числі протопектину в 2 рази більше, ніж у вихідній сировині, що контролюється традиційними хімічними методами, і в 4,5 рази більше утворюється розчинного пектину. Взагалі в нанопорошках і нанопоре 70% пектинових речовин знаходиться в розчинній формі. Механізм цього процесу пов'язаний із неферментативним біокаталізом – кріомеханолізом.

Встановлено, що засвоюваність нанодобавок (нанопоре і нанопорошків) із топінамбура в 2,7...3 рази вище, ніж вихідної сировини, яку виявлено з використанням метода біотестування тест-

культур інфузорій (за генеративною активністю одноклітинних), що пов'язано з особливостями хімічного складу добавок, вмістом БАР та дисперсним станом. Значна частина речовин (на 60...70%) знаходиться в нанорозчинній формі.

Із використанням нанодобавок розроблені різні види оздоровчих продуктів (сухі швидкорозчинні фруктові «Instant» нанонапої, сухі соки (в тому числі для спецконтингенту), кондитерські вироби, нові види наноморозива, біокефіри і біоюгурти з пребіотичними властивостями та ін.).

### Список джерел інформації / Reference

1. FAO/WHO/UNU (2013), Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAO Expert Consultation. Food and agriculture organization of the united nations Rome, 92, 57.
2. Капрельянц Л. В. Пребиотики: химия, технология, применение: монография / Л. В. Капрельянц. – К. : ЭнтерПринт, 2015. – 252 с.  
Kaprilyants, L. (2015), *Prebiotics: chemistry, technology, application: Monography* [Prebiotiki: himiya, tehnologiya, primeneniye: monografija], EnterPrint, K., 252 p.
3. Gibson, G., Roberfroid, M. (2008), *Handbook of Prebiotics*. CRS Press, London, 4, pp. 22-42.
4. Sousa, M., Santos, E., Sgarbeeri, V. (2011), «The importance of prebiotics in functional food and clinical practical», *Food and Nutritional Science*, 2, pp. 133–144.
5. Roberfroid, M. (2000), «Fructo-oligosaccharide malabsorption: benefit for gastrointestinal functions», *Curr Opinion Gastroenterology*, 16, pp. 173-177.
6. Павлюк Р. Ю. Крио- и механохимия в пищевых технологиях: монография / Р. Ю. Павлюк, В. В. Погарская, В. А. Павлюк и др. ; Харьк. гос. ун-т питания и торговли; Харьк. торг.-эконом. ин-т Киевск. нац. торг.-эконом. ун-та. – Х. : Факт, 2015. – 255 с.  
Pavlyuk, R., Pogarskaya, V., Pavlyuk, V., Radchenko, L., Yur'eva, O., Maksimova, N. (2015), *Cryo- and Mechanochemistry in the food technology: monography* [Krio- i mehanohimija v pishhevyh tehnologijah: monografija], Kharkov State University of Food Technology and Trade; Kharkov trade and economic Institute of Kyiv national University of trade and economy, Fact, Kh., 255 p.
7. Gaukel, V. (2016), “Cooling and Freezing of Foods”, *Reference Module in Food Science*, pp. 1–3.
8. Afoakwah, N.A., Dong, Y., Zhao, Y. Xiong, Z., Owusu, J., Wang, Y., Zhang, J. (2015), “Characterization of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) powder and its application in emulsion-type sausage”, *LWT – Food Science and Technology*, 64, 1, pp. 74–81.
9. Kolida, S., Tuohy, K., Gibson, G. (2002), “Prebiotic effects of inulin and oligofructose”, *The British journal of nutrition*, 87, 2, pp. 193–7.
10. Galland, L. (2014), “Functional Foods: Health Effects and Clinical Applications”, *Reference Module in Biomedical Sciences, from Encyclopedia of Human Nutrition (Third Edition)*, pp. 366-371.

11. Radovanovic, A., Stojceska, V., Plunkett, A. Jankovic, S. Milovanovic, D., Cupara, S. (2015), "The use of dry Jerusalem artichoke as a functional nutrient in developing extruded food with low glycemic index", *Food Chemistry*, 177, pp. 81-88.

12. Tu, J., Zhang, M., Xu, B., Liu, H. (2015), "Effects of different freezing methods on the quality and microstructure of lotus (*Nelumbo nucifera*) root", *International Journal of Refrigeration*, pp. 59-65.

13. James, S.J., James, C. (2014), "Chilling and Freezing", *Food Safety Management*, 20, pp. 481-510.

14. Balaz, P., Balaz, M., Bujnakova, Z. (2014), "Mechanochemistry in technology: from minerals to nanomaterials and drugs", *Chemical Engineering & Technology*, 37, pp. 747-756.

15. Zhao, X., Zhu, H., Zhang, G., Tang, W. (2015), "Effect of superfine grinding on the physicochemical properties and antioxidant activity of red grape pomace powders", *Powder Technology*, 286, pp. 838-844.

**Павлюк Раїса Юрївна**, д-р техн. наук, проф., лауреат Державної премії України, Заслужений діяч науки і техніки України, кафедра технологій переробки плодів, овочів і молока, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktprom@ukr.net.

**Павлюк Раїса Юрєвна**, д-р техн. наук, проф., лауреат Государственной премии Украины, Заслуженный деятель науки и техники Украины, кафедра технологій переробки плодів, овочей і молока, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktprom@ukr.net.

**Pavlyuk Raïsa**, doctor of technical sciences, professor, the State Prize laureate of Ukraine, Honored figure of Science and Technology in Ukraine, Department of Technology Processing of Fruits, Vegetables and Milk, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-92; e-mail: ktprom@ukr.net.

**Погарська Вікторія Вадимівна**, д-р техн. наук, проф., лауреат Державної премії України, кафедра технологій переробки плодів, овочів і молока, Харківський державний університет харчування і торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktprom@ukr.net.

**Погарская Виктория Вадимовна**, д-р техн. наук, проф., лауреат Государственной премии Украины, кафедра технологій переробки плодів, овочей і молока, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktprom@ukr.net.

**Pogarska Viktoriya**, doctor of technical sciences, professor, the State Prize laureate of Ukraine, Department of Technology Processing of Fruits, Vegetables and Milk, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-92; e-mail: ktprom@ukr.net.

**Балабай Катерина Сергіївна**, асист., кафедра технологій переробки плодів, овочів і молока, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktrpom@ukr.net.

**Балабай Катерина Сергеевна**, асист., кафедра технологій переробки плодів, овочей и молока, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktrpom@ukr.net.

**Balabai Katerina**, assistant, Department of Technology Processing of Fruits, Vegetables and Milk, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivskaya str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-92; e-mail: ktrpom@ukr.net.

**Павлюк Вадим Антонович**, д-р фіз.-мат. наук, проф., кафедра технології і організації ресторанного бізнесу, Харківський торговельно-економічний інститут Київського Національного торговельно-економічного університету. Адреса: пров. Отакара Яроша, 8, м. Харків, Україна, 61045. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktrpom@ukr.net.

**Павлюк Вадим Антонович**, д-р физ.-мат. наук, проф., кафедра технологии и организации ресторанного бизнеса, Харьковский торгово-экономический институт Киевского Национального торгово-экономического университета. Адрес: пер. Отакара Яроша, 8, г. Харьков, Украина, 61045. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktrpom@ukr.net.

**Vadim Pavlyuk**, doctor of ph.-m. sciences, professor, Department of technology and organization of restaurant business, Kharkiv Trade and Economics Institute of Kyiv National University of Trade and Economics. Address: Otakara Jarosha alley, 8, Kharkiv, Ukraine, 61045. Tel.: (057)349-45-92; e-mail: ktrpom@ukr.net.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. В.М. Михайловим.  
Отримано 15.10.2016. ХДУХТ, Харків.*