

## WHEY ENRICHED WITH MINERALS AS A PROMISING AMELIORATOR OF BREAD QUALITY

O. Kochubei-Lytvynenko, O. Bilyk  
*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Milk whey  
Wheat bread  
Electrical discharge  
treatment  
Magnesium  
Manganese  
Quality*

---

**Article history:**

Received 04.08.2015  
Received in revised form  
29.08.2015  
Accepted 22.09.2015

---

**Corresponding author:**

O. Bilyk  
**E-mail:**  
npnft@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The article reviews the aspects of the milk whey usage in bread baking industry aimed at improving bread quality and increasing its nutrition value, in particular the content of minerals. The results of theoretical and experimental studies concerning the use of various types of milk whey are presented. The new way of enriching milk whey with magnesium and manganese by electrical discharge synthesis of biometals was researched. It was established that with the increase in duration of electrical discharge treatment, the content of magnesium and manganese in treated milk whey also increases. It was proved that the use of enriched milk whey in the amount of 15% of flour mass has a positive effect on physicochemical and organoleptic qualities of wheat bread.

## ЗБАГАЧЕНА МІНЕРАЛЬНИМИ РЕЧОВИНАМИ МОЛОЧНА СИРОВАТКА ЯК ПЕРСПЕКТИВНИЙ ПОЛІПШУВАЧ ЯКОСТІ ХЛІБА

O.В. Кочубей-Литвиненко, О.А. Білик  
*Національний університет харчових технологій*

*У статті розглянуто аспекти використання молочної сироватки у хлібопекарській галузі для поліпшення якості хлібобулочних виробів і підвищення їх харчової цінності, особливо мінерального складу. Наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень із застосування різних видів молочної сироватки. Досліджено новий спосіб збагачення молочної сироватки металами магнію й мангану за допомогою підводного електроіскрового синтезу біометалів. Встановлено, що зі збільшенням тривалості електроіскрового оброблення підвищується вміст магнію та мангану в обробленій молочної сироватці. Доведено позитивний вплив використання 15 % до маси борошна збагаченої сироватки на фізико-хімічні й органолептичні показники якості хліба пшеничного.*

**Ключові слова:** *молочна сироватка, хліб пшеничний, електроіскрове оброблення, магній, манган, якість.*

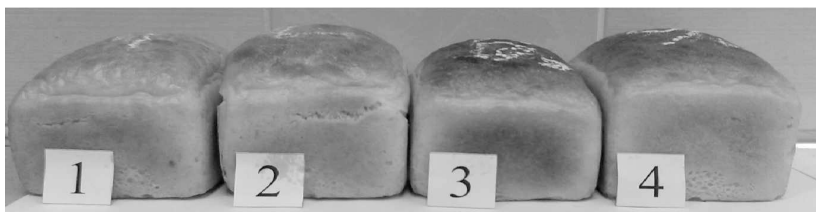
**Постановка проблеми.** Науковому обґрунтуванню використання молочної сироватки в хлібопекарській промисловості присвячені праці В.І. Дробот, І.М. Ройтера, Н.О. Чумаченко, С.А. Рябцевої, Т.Б. Циганової, А.Г. Храмцова, І.А. Евдокімова та ін. Сироватка та продукти її перероблення є ефективним натуральним поліпшувачем якості та підвищення харчової цінності хліба.

Натуральна сироватка у виробництві хліба і хлібобулочних виробів з пшеничного борошна виконує роль активатора мікрофлори рідких дріжджів, дріжджової суспензії, рідкої опари, інтенсифікатора процесу тістоприготування. До того ж внесення молочної сироватки підвищує харчову цінність хлібобулочних виробів при опарних і прискорених способах тістоведення, надає можливість економити борошно [1].

Проте додавання лише натуральної сироватки не здатне комплексно вирішити проблему поліпшення якості хліба, збереження його свіжості. До того ж важливими функціонально-технологічними складовими, зокрема мінеральними речовинами, вироби збагачуються несуттєво. Особливо це стосується використання демінералізованої сироватки, обсяги виробництва якої на підприємствах України та світу зростають [2].

Мінеральні речовини не тільки надають харчовим продуктам функціональних властивостей, а й відіграють вагомую технологічну роль. Відомо, що мінеральні солі, до складу яких входять метали, які беруть участь у каталітичній дії одної двокomпонентних ферментів, здатні активізувати і стабілізувати їх [3]. Зокрема, кальцій стабілізує вторинну й третинну структуру молекули  $\alpha$ -амілази, забезпечуючи її каталітичну активність та одночасно оберігаючи фермент від дії протеолітичних ферментів. Магній стимулює дію майже всіх ферментів дріжджової клітини, в тому числі аденозинфосфорних кислот [4].

Непрямым підтвердженням впливу мінеральних речовин на якість хлібобулочних виробів є результати лабораторного випікання хліба з пшеничного борошна першого сорту з введенням до складу рецептури молочної сироватки різних видів у кількості 15 % від маси борошна. Контролем слугував зразок пшеничного хліба, вироблений за традиційною рецептурою без додання сироватки. Досліджувані зразки хліба містили такі види сироватки: натуральну з-під сиру кисломолочного (зразок 2), демінералізовану підсируну зі ступенем демінералізації 50 % (зразок 3) та освітлену (зразок 4).



**Рис. 1.** Вплив різних видів молочної сироватки на якість хліба: 1 — без сироватки (контроль); 2 — з натуральною сироваткою з-під сиру кисломолочного; 3 — з демінералізованою сироваткою зі ступенем демінералізації 50 %; 4 — з освітленою молочною сироваткою

З рис. 1 видно, що найменший питомий об'єм хліба мали зразки, виготовлені з внесенням демінералізованої сироватки. Як відомо, після демінералізації вміст

натрію та калію зменшується у 3...4 рази, вміст кальцію — на 40 %, магнію — на 5 % [2]. Це, напевно, й послужило причиною погіршення якості хліба.

Нині в хлібопекарській промисловості для активації ферментів переважно застосовують солі неорганічних кислот. Небажаним побічним ефектом їх використання є накопичення надлишку сульфат-, хлорид-, фосфат-іонів тощо, які здатні гальмувати ріст дріжджових клітин [5]. До того ж мінерали в цій формі мають низьку біологічну активність.

Доцільнішим є використання органічних сполук біометалів, оскільки саме в такій хімічній формі вони функціонують в організмі людини. Одним із сучасних напрямів збагачення хлібобулочних виробів є застосування цитратів цинку і магнію, отриманих за нанотехнологією [6, 7, 8].

Дослідження нових способів введення мінеральних речовин до складу хлібобулочних виробів для поліпшення їх якості є актуальним і має наукове й практичне значення. Перспективним є збагачення харчових систем колоїдними формами мінеральних елементів, синтезованих у процесі об'ємного електроіскрового оброблення струмопровідних гранул металів у водному середовищі [9]. Реалізація методу не потребує складного технологічного забезпечення, тому знаходить практичне використання в технологіях біофункціональних матеріалів [10].

**Мета дослідження.** Обґрунтувати доцільність використання молочної сироватки, збагаченої колоїдними частинками біогенних металів, у хлібопекарській промисловості та вивчити вплив їх сумісної дії з компонентами молочної сироватки на якість хліба.

Для досягнення поставленої мети вирішували такі завдання:

- дослідження можливості введення до складу молочної сироватки колоїдних частинок магнію та мангану об'ємним електроіскровим диспергуванням гранул металів у водному середовищі;

- вивчення впливу сумісної дії колоїдних частинок біогенних металів і компонентів молочної сироватки на реологічні властивості тіста та якість хліба з пшеничного борошна.

**Матеріали і методи.** Електроіскровий процес реалізували на експериментальному технологічному комплексі, розробленому науковцями НУБіП [11]. Об'єктом досліджень була сироватка з-під сиру кисломолочного з масовою часткою сухих речовин 6,0...7,5 %. Оброблення здійснювали за таких параметрів: напруга зарядки конденсатора —  $(75 \pm 5)$  В; ємність конденсатора — 50 мкФ; температура оброблюваного середовища —  $(20 \pm 2)$  °С,  $(63 \pm 2)$  °С та  $(80 \pm 2)$  °С; об'єм — 300...1000 см<sup>3</sup>; тривалість експозиції — 30...180 с.

У сироватці до та після оброблення визначали органолептичні показники, масову частку сухих речовин та активну кислотність стандартними методами, електрокінетичний потенціал, середній гідродинамічний розмір частинок — за допомогою аналізатора Malvern Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments Ltd., Велика Британія). Вміст металічних елементів у зразках сироватки визначали методом атомно-абсорбційної спектроскопії. Для цього використовували атомно-абсорбційний спектрометр AASIN (Carl Zeiss Jena, Німеччина), обладнаний пальником для полум'я ацетилен-повітря та лампами з порожнистим катодом на

магній і манган. Реєстрацію атомного поглинання здійснювали за довжини хвилі резонансної лінії 285,2 нм (Mg) та 279,5 нм (Mn) у полум'ї ацетилен-повітря.

Для досліджень показників технологічного процесу, біохімічних, фізико-хімічних змін у тісті та якісних показників хліба проводили лабораторні випікання. Тісто готували безопарним способом з масовою часткою вологи 45 %. Замішували тісто в двошвидкісній тістомісильній машині. Сироватку, оброблену підводними електроіскровими розрядами, та необроблену дозували у кількості 15 % до маси борошна. Формування тістових заготовок проводили вручну. Вистоювання здійснювали за температури  $(35 \pm 2) ^\circ\text{C}$  і відносної вологості  $(75 \pm 2) \%$  до готовності. Вироби випікали в шафовій печі за температури 220...240  $^\circ\text{C}$ .

Якість тіста оцінювали за фізико-хімічними та реологічними показниками після замішування і по завершенню бродіння за загальноприйнятими методами [12]. Якість хліба визначали за фізико-хімічними (питомий об'єм, пористість, формостійкість, структурно-механічні властивості м'якушки) та органолептичними показниками (зовнішній вигляд, стан поверхні скоринки, структура пористості, смак, запах). Вплив добавок на тривалість збереження виробами свіжості досліджували за зміною структурно-механічних властивостей м'якушки. Визначали її загальну деформацію після 72 год зберігання на пенетрометрі АП 4/1. Комплексний показник якості визначали за бальною оцінкою якості хлібобулочних виробів [12].

**Результати і обговорення.** На експериментальному технологічному комплексі обробляли сироватку з-під сиру кисломолочного з використанням у розрядній камері електродів магнію або мангану. Тривалість оброблення варіювали від 30 до 180 с. У сироватці до та після оброблення визначали зміну органолептичних і фізико-хімічних показників.

Відомо, що метод об'ємного електроіскрового диспергуванням гранул металів передбачає перебіг процесу в середовищі з низькою електропровідністю [9]. Вихідна молочна сироватка мала електропровідність 6,83 мСм/см, що не заперечує ідеології перебігу синтезу металів.

Під час досліджень відмічено підвищення рівня активної кислотності на 0,1...0,5 од. рН і масової частки сухих речовин на 0,1...0,3 % залежно від температури й тривалості оброблення молочної сироватки. Встановлено підвищення вмісту магнію і мангану зі збільшенням тривалості оброблення (рис. 2).

Під час органолептичного оцінювання зразків, оброблених підводними електроіскровими розрядами протягом 120 с і більше, відмічено наявність яскраво вираженого специфічного смаку і запаху, невластивого натуральній сироватці; колір сироватки — від світло сірого до графітового. У разі оброблення сироватки протягом 30...60 с специфічний смак і запах був відсутній або менш помітний, колір — жовто-зелений з ледь помітним світло-сірим відтінком.

Встановлено, що зі зростанням температури оброблення вище 60  $^\circ\text{C}$  та тривалості впливу понад 60 с знижувалося абсолютне значення електрокінетичного потенціалу в середньому на 1,1...2,3 мВ. При цьому середній гідродинамічний розмір частинок дещо збільшувався. Зазначене є непрямим свідченням агрегування частинок сироватки, зокрема білка, що небажано. Коагуляція білкових частинок, імовірно, спровокована тепловими процесами

в каналі іскрового розряду в поєднанні з підвищенням температури оброблюваного середовища й тривалості впливу електроіскрових розрядів.

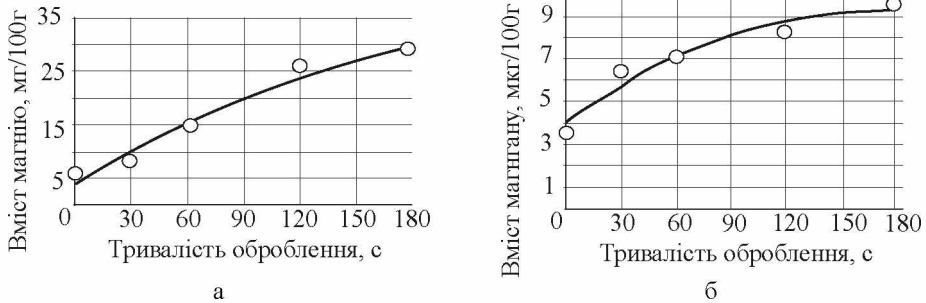


Рис. 2. Вміст магнію (а) і мангану (б) в молочній сироватці залежно від експозиції електроіскрового оброблення

Оброблення протягом 60 с за температури  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  не викликало істотних змін зазначених параметрів, агрегування частинок не спостерігалось.

Під час випікання хліба з використанням сироватки, обробленої в розрядній камері із магнієвими електродами з експозицією 60, 120 і 180 с, відмічено, що тривалість оброблення несуттєво впливала на якість хліба, зокрема його питомий об'єм (рис. 3).



Рис. 3. Зразки хліба пшеничного, вироблені: 1 — без додавання сироватки; 2 — з додаванням необробленої сироватки з-під сиру кисломолочного; 3 — з додаванням сироватки, обробленої протягом 60 с; 4 — з додаванням сироватки, обробленої протягом 120 с; 5 — з додаванням сироватки, обробленої протягом 180 с.

Враховуючи вищесказане і спираючись на органолептичну оцінку досліджуваних зразків, під час проведення подальших досліджень оброблення молочної сироватки з метою її збагачення колоїдними частинками біогенних металів магнію і мангану здійснювали за таких параметрів: температура  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ; тривалість впливу під час диспергування гранул Mg — 60 с, Mn — 30 с, Mg і Mn — 60 і 30 с відповідно; об'єм зразка в розрядній камері —  $300\text{ см}^3$ .

Таблиця 1. Фізичні і фізико-хімічні показники сироватки до і після оброблення

Показник	Сироватка з-під сиру кисломолочного (контроль)	Сироватка, оброблена підводними електроіскровими розрядами із залученням електродів		
		Mg	Mn	Mg і Mn
1	2	3	4	5
Масова частка сухих речовин, %	$6,16 \pm 0,06$	$6,20 \pm 0,10$	$6,23 \pm 0,06$	$6,36 \pm 0,05$
Активна кислотність, од. рН	4,01	4,32	4,85	5,28

1	2	3	4	5
Електрокінетичний потенціал, мВ	$-(2,17 \pm 0,10)$	$-(3,23 \pm 0,06)$	$-(2,92 \pm 0,14)$	$-(3,91 \pm 0,52)$
Середній гідродинамічний розмір, нм	$495,84 \pm 15,34$	$500,78 \pm 43,05$	$619,71 \pm 79,99$	$654,84 \pm 38,31$
Електропровідність, мСм/см	$6,83 \pm 0,27$	$7,41 \pm 0,28$	$7,25 \pm 0,21$	$7,62 \pm 0,31$
Вміст магнію, мг/100 г	$5,3 \pm 0,27$	$14,8 \pm 0,70$	$5,3 \pm 0,27$	$15,0 \pm 0,60$
Вміст мангану, мкг/100 г	$3,5 \pm 0,15$	$3,5 \pm 0,15$	$6,5 \pm 0,30$	$6,7 \pm 0,20$

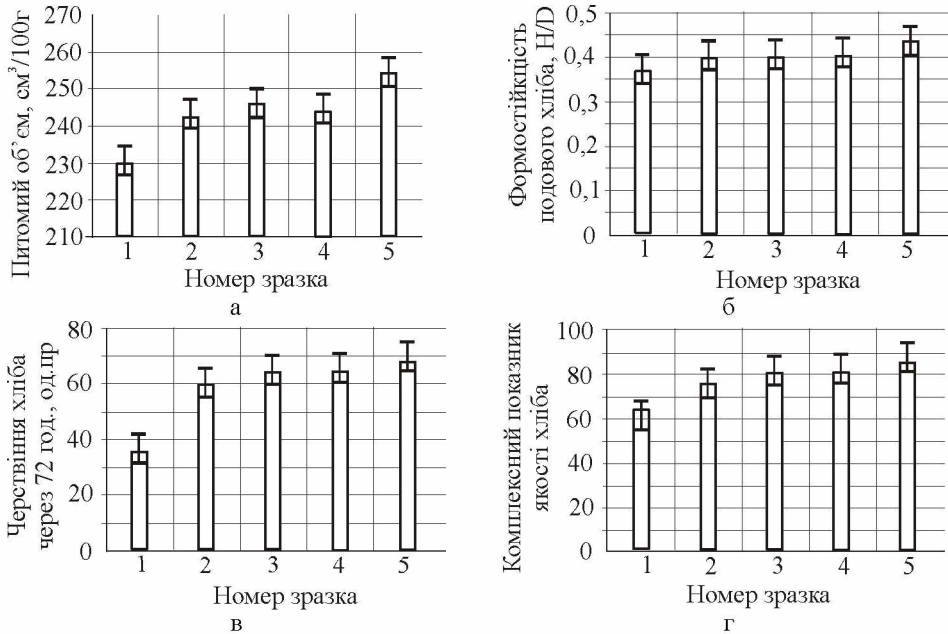
Подальші дослідження стосувалися можливості використання обробленої сироватки в технології хлібобулочних виробів. З цієї метою проводили пробні лабораторні випікання. Тісто готували безопарним способом за рецептурою хліба пшеничного (цей хліб служив контролем), сироватку з-під сиру кисломолочного, сироватку, збагачену частинками Mg, сироватку, збагачену частинками Mn і сироватку, збагачену частинками Mg і Mn, дозували в кількості 15 % до маси борошна. Оцінювання якості тіста та хліба проводили за фізико-хімічними, органолептичними показниками та комплексним показником якості. Результати представлено в табл. 2 та на рис. 4 і 5.

Таблиця 2. Вплив молочної сироватки, збагаченої магнієм і манганом, на якість тіста й хліба

Показники якості хліба	Хліб				
	Контроль (без добавок)	із натуральною сироваткою	із сироваткою, збагаченою		
			Mg	Mn	Mg і Mn
<i>Тісто</i>					
Масова частка вологи, %	45,0				
Титрована кислотність, град.:					
початкова	1,3	1,7	1,7	1,7	1,2
кінцева	1,8	2,2	1,8	1,8	1,6
Тривалість бродіння, хв	60				
Тривалість вистоювання, хв	80				
Питомий об'єм тіста, см <sup>3</sup>	120	126	124	124	128
Розпливання кульки тіста, мм	105	100	100	100	98
Газоутворення за період бродіння і вистоювання, см <sup>3</sup> /100г	287	308	310	312	316
<i>Хліб</i>					
Пористість, %	72	73	74	74	74
Кислотність, град.	1,4	1,8	1,6	1,4	1,4

Встановлено, що у разі додання натуральної сироватки і сироватки, збагаченої окремо колоїдними частинками Mn і окремо Mg, підвищувалася кислотність тіста і хліба. У разі використання сироватки, збагаченої одночасно частинками Mg і Mn, вказані значення порівняно з контролем не збільшувалися. Виявлено, що використання всіх досліджуваних зразків сироватки підвищувало газоутворення, питомий об'єм тіста і покращувало його реологічні властивості, що призводило до збільшення питомого об'єму хліба. Так, у хлібі з сироваткою, збагаченою магнієм, цей показник порівняно з

контролем збільшувався на 7,0 %; манганом — на 6 %; магнієм і манганом — на 10,4 % (рис. 4а).



**Рис. 4. Вплив сироватки, збагаченої магнієм і манганом, на якість хліба:**

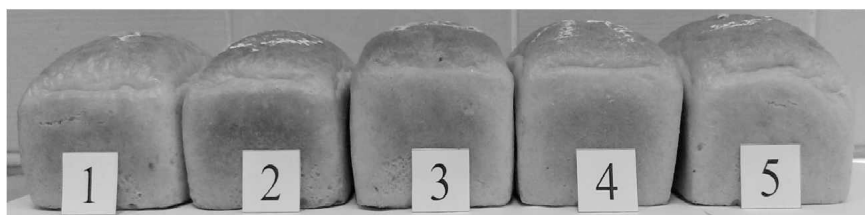
а — питомий об'єм хліба; б — формостійкість подового хліба; в — черствіння через 72 год.; г — комплексний показник якості хліба (номер зразка хліба: 1 — контроль без добавок; 2 — із доданням натуральної сироватки; 3, 4, 5 — із доданням сироватки, збагаченої відповідно магнієм, манганом і магнієм та манганом)

За рахунок внесення сироватки відбувається зміцнення клейковинного каркасу, що позитивно впливає на формостійкість хліба (рис. 4б). У разі внесення обробленої сироватки не спостерігалось змін у традиційних органолептичних показниках хліба пшеничного.

У хлібопекарській промисловості черствіння є проблемою, з якою пов'язано зниження споживчих властивостей хлібобулочних виробів і додаткові затрати на перероблення черствого хліба, тому доцільно дослідити вплив збагаченої сироватки на збереження хлібобулочними виробами свіжості.

Про ступінь черствіння робили висновок після визначення величини загальної деформації м'якушки через 72 год зберігання. Порівняльний аналіз ступеня збереження досліджуваними зразками свіжості показав позитивний вплив внесення сироватки на цей процес (рис. 4в). Як свідчать дані, у разі додання в тісто сироватки майже вдвічі покращується загальна деформація м'якушки (рис. 4в).

Результати досліджень показали, що найвищий комплексний показник якості мав хліб із сироваткою, збагаченою частинками біогенних металів — магнію та мангану, на другому місці — хліб із сироваткою, збагаченою частинками магнію (рис. 4г). Позитивний вплив обробленої сироватки наглядно продемонстровано на рис. 5.



**Рис. 5.** Вплив сироватки, збагаченої колоїдними частинками магнію і мангану, на якість хліба: 1 — без сироватки (контроль); 2 — із сироваткою з-під сиру кисломолочного; 3 — із сироваткою, збагаченою частинками Mg; 4 — із сироваткою, збагаченою частинками Mn; 5 — із сироваткою, збагаченою частинками Mg і Mn

### Висновки

Доведено можливість збагачення сироватки молочної колоїдними частинками магнію та мангану підводним електроіскровим синтезом біометалів.

Встановлено підвищення вмісту магнію та мангану в обробленій сироватці зі збільшенням тривалості електроіскрового оброблення. Фізичні та фізико-хімічні властивості обробленої сироватки не зазнавали істотних змін.

За органолептичними, фізико-хімічними показниками та рівнем збагачення сироватки біометалами обрано раціональні параметри оброблення: температура ( $20 \pm 2$ ) °C, тривалість оброблення — 60 с для магнієвих електродів і 30 с — манганових. За рекомендованих параметрів вміст магнію в сироватці збільшується майже втричі, мангану — у 1,5...1,8 разів.

Введення до рецептури хліба 15 % до маси борошна сироватки, збагаченої колоїдними частинками магнію та мангану, поліпшує якість тіста і хліба з пшеничного борошна, а саме: збільшується питомий об'єм, покращується формостійкість і подовжується термін зберігання свіжості, що підтверджується найбільшим значенням комплексного показника якості.

Отже, електроіскрове оброблення молочної сироватки позитивно впливає на її властивості, підвищує вміст магнію та мангану та відкриває перспективи виробництва натурального поліпшувача для хлібобулочних виробів, який, у свою чергу, підвищує харчову цінність.

### Література

1. Дробот В.І. Технологія хлібопекарського виробництва. — К.: Логос, 2002. — 365 с.
2. Храпцов А.Г. Феномен молочної сыворотки. — СПб.: Профессия, 2011. — 804 с.
3. Матвеева И.В. Пищевые добавки и хлебопекарные улучшители в производстве мучных изделий: уч. пособие / И.В. Матвеева, И.Г. Белявская. — М.: Телер, 2000. — 100 с.
4. Чурилина Н.В. О влиянии добавок минеральных солей и фосфолипазы на качество хлеба / Н.В. Чурилина, И.В. Матвеева, Т.А. Юдина // Хлебопечение России. — 2004. — № 3. — С. 24—26.
5. Кантере В.М. Теоретические основы технологии микробиологических производств: уч. пособие. — М.: Агропромиздат, 1990. — 271 с.
6. Використання цитратів цинку та магнію, одержаних методом нанотехнології, у хлібопеченні / В.І. Дробот, Ю.В. Бондаренко, В.Г. Кашпуненко // Міжнародна наукова конференція, присвячена 130-річчю НУХТ «Нові ідеї в харчовій науці — нові продукти харчовій промисловості», 13—17 жов. 2014 р., м. Київ. — К.: НУХТ, 2014. — С. 60.
7. Харченко О.О. Цитрати біметалів як альтернатива вирішення проблеми дефіциту макро- та мікроелементів // Гігієна населених місць. — 2010. — № 60. — С. 242—245.

8. Сердюк А.М. Нанотехнології мікронутрієнтів: питання безпеки та біотичності наноматеріалів при виробництві харчових продуктів / А.М. Сердюк, М.П. Гуліч, В.Г. Каплуненко, Н.В. Косімов // Академія медичних наук України. — 2010. — № 3, Т. 16. — С. 467—471.

9. Лопатько К.Г. Обґрунтування фізико-технологічних основ біологічної функціональності наночастинок металів: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: спец.: 03.00.20 «Біотехнологія» / Лопатько Костянтин Георгійович; НУБіП. — К., 2015. — 46 с.

10. Amorphous soft magnetic particles produced by spark erosion / A.E. Berkowitz, M.F. Hanson, F.T. Parker and ect. // J. Magnetism Magnetic Materials. — 2003. — V. 254—255. — P. 1—6.

11. Перспективы использования молочной сыворотки, обогащенной коллоидными частицами магния и марганца / Кочубей-Литвиненко О.В., Билык Е.А., Олишевский В.В. и др. // Международ. научно-практ. конф. «Инновационные технологии производства продуктов питания функционального назначения» 17 апр. 2015 г., г. Кутаиси. — Гос. университет Акакия Церетели. — 2015. — С. 75—78.

12. Лабораторний практикум з технології хлібопекарського та макаронного виробництв: навч. посібник / В.І. Дробот, Л.Ю. Арсеньєва, О.А. Білик, В.Ф. Доценко та ін. — К.: Центр навч. літ-ри, 2006. — 341 с.

## **ОБОГАЩЕННАЯ МИНЕРАЛЬНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ МОЛОЧНАЯ СЫВОРОТКА КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ УЛУЧШИТЕЛЬ КАЧЕСТВА ХЛЕБА**

**О.В. Кочубей-Литвиненко, Е.А. Билык**

*Национальный университет пищевых технологий*

*В статье рассмотрены аспекты использования молочной сыворотки в хлебопекарной отрасли для улучшения качества хлебобулочных изделий и повышения их пищевой ценности, особенно минерального состава. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований с использованием разных видов молочной сыворотки. Исследован новый способ обогащения молочной сыворотки металлами магния и марганца с помощью подводного электроискрового синтеза биометаллов. Установлено, что с увеличением продолжительности электроискровой обработки повышается содержание магния и марганца в обработанной молочной сыворотке. Доказано положительное влияние использования 15 % к массе муки обогащенной сыворотки на физико-химические и органолептические показатели качества хлеба пшеничного.*

**Ключевые слова:** *молочная сыворотка, хлеб пшеничный, электроискровая обработка, магний, марганец, качество.*