



## Journal of Chemistry and Technologies

pISSN 2663-2934 (Print), ISSN 2663-2942 (Online)

journal homepage: <http://chemistry.dnu.dp.ua>



UDC 543.421:637.07

### MONITORING OF CONTENT OF SODIUM, POTASSIUM, CALCIUM AND MAGNESIUM IN WHEY PROCESSED PRODUCTS

Oleg I. Yurchenko<sup>1</sup>, Sergei M. Gubskii<sup>2</sup>, Tetyana V. Chernozhuk<sup>1</sup>, Alexandr N. Baklanov<sup>1</sup>, Oleksii A. Kravchenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>V.N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., 61022 Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup>Kharkiv State University of Food Technology and Trade, 333, Klochkivska St., 61051 Kharkiv, Ukraine

#### Abstract

The influence of Triton X-100 concentration and time of ultrasonic treatment (frequency 44 kHz, intensity 1.5 W/cm<sup>2</sup>) on the determination of sodium, potassium, calcium and magnesium in whey processed products by atomic absorption spectroscopy (AAS) was studied. It was shown that the maximum value of the analytical signal is achieved with a mass fraction of Triton X-100 of 5 % and an ultrasonic treatment time of 15 min. The sensitivity of measurements increases from one and a half to two times. Procedures have been developed for determining the content of sodium, potassium, calcium and magnesium in whey and products of its processing by AAS and atomic emission spectroscopy with inductively coupled plasma (AES-ICP). Validation of the results of determination of magnesium and calcium by AAS and AES-ICP was carried out by varying the weight of the sample and standard addition method.

*Key words:* whey; triton X-100; ultrasound; atomic absorption spectroscopy; inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy.

### МОНІТОРИНГ ВМІСТУ НАТРІЮ, КАЛІЮ, КАЛЬЦІЮ ТА МАГНІЮ В ПРОДУКТАХ ПЕРЕРОБКИ МОЛОЧНОЇ СИРОВАТКИ

Олег І. Юрченко<sup>1</sup>, Сергій М. Губський<sup>2</sup>, Тетяна В. Черножук<sup>1</sup>, Олександр М. Бакланов<sup>1</sup>, Олексій А. Кравченко<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, пл. Свободи, 4, Харків, 61022, Україна

<sup>2</sup>Харківський державний університет харчування та торгівлі, вул. Клочківська, 333, Харків, 61051, Україна

#### Анотація

Досліджено вплив концентрації Тритон X-100 та часу обробки ультразвуком (частота 44 кГц, інтенсивність 1,5 Вт/см<sup>2</sup>) на визначення Натрію, Калію, Кальцію та Магнію у продуктах переробки молочної сироватки методом атомно-абсорбційної спектроскопії (ААС). Показано, що максимальне значення аналітичного сигналу досягається при масовій частці Тритон X-100 5% та часі обробки ультразвуком 15 хв. Чутливість вимірювань збільшується від півтора до двох разів. Розроблені методики визначення вмісту Натрію, Калію, Кальцію та Магнію в сироватці та продуктах її переробки методами ААС та атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою (АЕС-ІЗП). Перевірку правильності результатів визначення Магнію та Кальцію методами ААС та АЕС-ІЗП проведено методами варіювання маси наважки та добавок.

*Ключові слова:* молочна сироватка; тритон X-100; ультразвук; атомно-абсорбційна спектроскопія; атомно-емісійна спектроскопія з індуктивно-зв'язаною плазмою

\*Corresponding author: tel.: ; e-mail:

© 2020 Oles Honchar Dnipro National University

doi: 10.15421/082004

## МОНІТОРИНГ СОДЕРЖАННЯ НАТРІЯ, КАЛІЯ, КАЛЬЦІЯ І МАГНІЯ В ПРОДУКТАХ ПЕРЕРАБОТКИ МОЛОЧНОЇ СЫВОРОТКИ

Олег И. Юрченко<sup>1</sup>, Сергей М. Губский<sup>2</sup>, Татьяна В. Черножук<sup>1</sup>, Александр Н. Бакланов<sup>1</sup>, Алексей А. Кравченко<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, пл. Свободы, 4, Харьков, 61022, Украина

<sup>2</sup>Харьковский государственный университет питания и торговли, ул. Клочковская, 333, Харьков, 61051, Украина

### Аннотация

Исследовано влияние концентрации Тритона X-100 и времени обработки ультразвуком (частота 44 кГц, интенсивность 1,5 Вт/см<sup>2</sup>) на определение натрия, калия, кальция и магния в продуктах переработки молочной сыворотки методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС). Показано, что максимальное значение аналитического сигнала достигается при массовой доле Тритона X-100 5% и времени обработки ультразвуком 15 мин. Чувствительность измерений увеличивается от полутора до двух раз. Разработаны методики определения содержания натрия, калия, кальция и магния в сыворотке и продуктах ее переработки методами ААС и атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (АЭС-ИСП). Проверка правильности результатов определения магния и кальция методами ААС и АЭС-ИСП проведена методами варьирования массы навески и добавок.

*Ключевые слова:* молочная сыворотка; Тритон X-100; ультразвук; атомно-абсорбционная спектроскопия; атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно-связанной плазмой.

### Вступ

При переробці молока в процесі виробництва твердих сирів, сирів та казеїну в якості побічного продукту утворюється молочна сироватка. Переробка її в окремі компоненти є важливою проблемою сучасного стану науки і технології молочних продуктів та дозволяє вирішувати ряд проблем [1–4]. Сироватка використовується при виробництві білкових концентратів [5].

Згідно з літературними даними, сироватка має терапевтичний потенціал [6; 7], є енергетично цінним та збагаченим на корисні сполуки молочним продуктом [8; 9], в якому міститься близько 50 % сухих речовин молока і до 200 різних речовин. Серед останніх слід відзначити білки, мінеральні солі, лактозу, а також вітаміни, ферменти, органічні кислоти. Поряд з поживною цінністю, молочна сироватка та продукти її переробки мають дієтичне та лікувальне значення.

У теперішній час у зв'язку з широким розповсюдженням мембранних методів (ультрафільтрація, зворотний осмос, електродіаліз) з'явилася можливість більш глибокої переробки молочної сироватки з отриманням сухих концентратів, до яких відноситься суха молочна сироватка демінералізована (СМСД). Мембранні процеси засновані на фракціонуванні багатокомпонентного субстрату (в нашому випадку – сироватки) за допомогою мембран різної пористості, що забезпечують поділ системи на фракції «концентрат» та «фільтрат» відповідно до розмірів молекул компонентів. Напівпроникні мембрани різної пористості при цьому виступають у ролі «молекулярного

сита» [10; 11]. При ультрафільтрації мембрана затримує лише високомолекулярні сполуки та пропускає з фільтром речовини, що утворюють «істинний» розчин. Так, при ультрафільтрації молочної сироватки затримується (концентрується) білок, а у фільтрат (?) попадають солі і лактоза. У фільтрат переходить близько 30 % кальцію, 90 % калію та натрію, 70 % магнію, 80 % хлору та 50 % фосфору, які містилися в початковій сироватці. Вміст вітамінів в концентраті такий самий, як і в вихідній сироватці. Необхідний тиск для здійснення процесу ультрафільтрації (за принципом зворотного осмосу) знаходиться на рівні 0.1 – 1 МПа (1 – 10 атм).

У результаті ультрафільтрації отримують білковий концентрат (реагент), що містить високомолекулярні сполуки молочної сироватки (і, відповідно його концентрації, компоненти) і фільтрат (пермеат) – розчин лактози, мінеральних солей та інших низькомолекулярних сполук, аналогічний за складом молочній сироватці [11].

Технологічний процес виробництва СМСД є багатоетапним, з поступовим зменшенням концентрації мінеральних речовин до необхідного рівня, що визначається технічними умовами виробництва. Величина мінералізації є важливим фактором на стадії сушки, який впливає на стан вакуум-випарного і сушильного обладнання. З іншого боку, ефективність поділу багатокомпонентної системи, якою є молочна сироватка, на складові, вимагає розробки та затвердження методик контролю вмісту цих складових на всіх стадіях виробництва, що є актуальним питанням для потреб ефективного виробництва.

У якості методів дослідження вмісту мінеральних компонентів молочних продуктах доцільно використовувати різновиди атомно-абсорбційної (ААС) та атомно-емісійної (АЕС) спектроскопії [12; 13]. Ефективним методом інтенсифікації пробопідготовки для наступного визначення методами ААС, АЕС та іншими методами є використання ультразвукового випромінювання [14–17]. Переваги даних методів хімічного аналізу полягають у можливості одночасного визначення макро- і мікроелементів, експресності вимірювань, простоті градування, високій стабільності аналітичного сигналу і відносно слабких матричних ефектах.

Важливу роль при визначенні аналітів в багатоконпонентних зразках відіграють сучасні методи пробопідготовки для аналізу продуктів харчування [15; 18]. Для підвищення чутливості визначення та більш повного переведення аналіту зі зразка в досліджувану пробу використовують спосіб, що передбачає додавання поверхнево-активних речовин (ПАР) для утворення нового середовища [19]. Останній спосіб застосовується також з одночасною стабілізацією мікрооточення аналіту за допомогою ультразвукової обробки [20].

Мета даної роботи полягала в розробці методики визначення вмісту Натрію, Калію, Кальцію та Магнію, що становлять основу мінеральної частини у вихідному, проміжних (ретентат, пермеат) і кінцевому продуктах процесу переробки молочної сироватки підсирної в СМСД. Продукти переробки сироватки використовують для приготування продуктів харчування для воїнів збройних сил України. Вони мають велику енергетичну ємність. Раніше такі комплексні дослідження продуктів переробки сироватки на вміст лужних та лужноземельних металів не проводились.

### Експериментальна частина

*Реактиви та використане обладнання.* У роботі використано атомно-абсорбційний спектрометр С-115М1 (полум'яний варіант), лампи з порожнистим катодом, полум'я ацетилен-повітря. Вимірювання проводили при довжинах хвиль: Натрій – 589.0 нм; Калій – 766.5 нм; Магній – 422.7 нм; Кальцій – 285.4 нм. Сила струму на лампі – 7.5 мА, ширина щілини монохроматора – 0.1 нм, напруга на ФЕУ – 1.1 кВ. Також використано атомно-емісійний спектрометр з індуктивно-зв'язаною плазмою (АЕС-ІЗП) іСАР 6300 ДУО: швидкість плазмоутворюючого потоку Аргону – 12 л/хв; потужність плазми 1350 Вт; режим спостереження плазми – аксіальний,

потік Аргону у розпилювачі – 0.55 л/хв; швидкість обертання насоса – 50 об/хв; час інтегрування сигналу – 20 с; 5 паралельних вимірювань. Для градування використовували стандартні зразки складу, виготовлені в Фізико-хімічному інституті імені А.В. Богатського НАН України (м. Одеса). Інші реактиви були кваліфікації «х.ч». Рідкі зразки молочної сироватки, ретентату та пермеату були відібрані з виробничої лінії з випуску СМСД підсирна з рівнем демінералізації 40 % (ДП «Мілкленд-Україна»), що є кінцевим продуктом процесу переробки.

*Пробопідготовка.* Сироватку, ретентат і пермеат розбавляли бідистильованою водою в 100, 1000 або 10000 разів (в залежності від того, який елемент визначали). Наважку сухої речовини розчиняли в мірній колбі місткістю 100 см<sup>3</sup>.

Розчини Натрію, Калію, Кальцію та Магнію для побудови градувального графіку були приготовлені шляхом розведення вихідного розчину відповідного металу з концентрацією 0.1 г/л.

Розчин для визначення вмісту Магнію та Кальцію в молочної сироватці з використанням Тритон Х-100 та ультразвукової обробки готували наступним чином. До наважки зразку ( $m = 0.2056$  г) додавали 1 см<sup>3</sup> конц. HNO<sub>3</sub>, 4 см<sup>3</sup> водного розчину Тритон Х-100 з масовою часткою 5 % та перемішували магнітною мішалкою 30 хв. Розчин кількісно переносили в мірну колбу місткістю 10 см<sup>3</sup>, доводили до позначки дистильованою водою та обробляли 15 хв ультразвуком. При цьому отримували стабільні та однорідні розчини, що не розшаровувалися протягом 6 днів.

### Результати та їх обговорення

*Дослідження вмісту Калію та Натрію в продуктах переробки сироватки методами ААС та АЕС-ІЗП.* При використанні методів ААС та АЕС-ІЗП найбільше значення має ефективність розпорошення аналізованих зразків. Якісне диспергування розчинів і утворення крапель розчину якомога меншого розміру дозволяють довше утримувати в атомарному стані визначувані аналіти. Одним з простих, але дуже ефективних способів досягнення бажаного результату є використання поверхнево-активних речовин. Комбіноване використання ПАР та ультразвукового опромінювання дозволяє підвищити чутливість та прецизійність результатів аналізу.

При використанні ПАР Тритон Х-100 на межі розподілу фаз зменшується поверхневий натяг, в'язкість та розмір крапель аерозолу та

змінюються окисно-відновні характеристики полум'я, розподіл заряду молекул, ефективність енергії збудження.

У табл. 1 наведені результати визначення Калію в сироватці та продуктах її переробки методом ААС, а також другим незалежним методом АЕС-ІЗП.

**The results of determination of potassium in whey and products of its processing by AAS and ICP-AES methods (n = 5, P = 0.95)**

Table 1

**Результати визначення Калію в сироватці і продуктах її переробки методами ААС та АЕС-ІЗП (n = 5, P = 0.95)**

Табл. 1

Зразок	Вміст Калію, г/л		S <sub>r</sub>	Вміст Калію г/кг		F	t
	Метод ААС			Метод АЕС-ІЗП			
Сироватка	1.37 ± 0.03	0.02	0.02	1.36 ± 0.03	0.02	3.65	1.30
Ретентат	2.24 ± 0.04	0.02	0.02	2.22 ± 0.03	0.02	3.80	1.28
Пермеат	1.07 ± 0.03	0.02	0.02	1.05 ± 0.03	0.02	1.90	1.67
Суша речовина	15.5 ± 0.3 г/кг	0.02	0.02	15.4 ± 0.3 мг/кг	0.02	1.80	0.38

Порівняння відтворюваності результатів визначення Калію методами ААС та АЕС-ІЗП за критерієм Фішера свідчить про відсутність значимої різниці між дисперсіями. Отримані експериментальні значення критерію Фішера у всіх випадках суттєво нижчі, ніж табличне значення. Це свідчить про те, що отримані результати належать до однієї вибірки і дозволяють порівнювати середні значення.  $F_{\text{табл}} (P = 0.95; f_1 = 4; f_2 = 4) = 4.94, F < F_{\text{табл}}$ . Результати

визначення методами ААС та АЕС-ІЗП для усіх досліджених зразків не відрізняються статистично значимо за критерієм Ст'юдента, що є доказом відсутності систематичної погрешності в результатах обох методів.  $t_{\text{табл}} (P = 0.95; f = 8) = 2.31, t < t_{\text{табл}}$ .

Результати визначення Натрію у сироватці і продуктах її переробки методами ААС та АЕС-ІЗП наведені у табл. 2.

**Results of determination of sodium content by AAS and ICP-AES methods in whey and products of its processing (n = 5, P = 0.95)**

Table 2

**Результати визначення вмісту Натрію методами ААС та АЕС-ІЗП у сироватці та продуктах її переробки (n = 5, P = 0.95)**

Табл. 2

Зразок	Вміст Натрію, г/л		S <sub>r</sub>	Вміст Натрію, г/л		F	t <sub>1,2</sub>
	ААС			АЕС-ІЗП			
Сироватка	0.14 ± 0.03	0.02	0.02	0.16 ± 0.03	0.03	1.76	0.68
Ретентат	0.74 ± 0.03	0.03	0.03	0.77 ± 0.04	0.03	1.16	1.30
Пермеат	0.30 ± 0.03	0.02	0.02	0.34 ± 0.04	0.03	1.89	1.43
Суша речовина	5.63 ± 0.07 г/кг	0.03	0.03	5.68 ± 0.06 г/кг	0.03	2.12	1.61

При визначенні вмісту Натрію у сироватці та продуктах її переробки методами ААС та АЕС-ІЗП отримані результати, які свідчать про задовільну правильність і високу прецизійність застосованих методик аналізу.

Атомно-абсорбційне та атомно-емісійне з індуктивно-зв'язаною плазмою визначення вмісту Магнію та Кальцію в молочній сироватці з

використанням Тритон Х-100 та ультразвукової обробки. Першим етапом роботи було дослідження впливу концентрації Тритон Х-100 на величину аналітичного сигналу при атомно-абсорбційному визначенні Магнію та Кальцію, результати якого наведені у табл. 3.

**Influence of Triton X-100 concentration on the atomic absorption determination of Magnesium and Calcium in whey (n=5, P=0.95)**

Table 3

**Вплив концентрації Тритон Х-100 на атомно-абсорбційне визначення Магнію та Кальцію у сироватці (n=5, P=0.95)**

Табл. 3

Масова частка Тритон Х-100, %	Вміст Магнію, мг/кг		Вміст Кальцію, мг/кг	
	S <sub>сер</sub> ± Δ	S <sub>r</sub>	S <sub>сер</sub> ± Δ	S <sub>r</sub>
3	2.66 ± 0.08	0.03	83.0 ± 1.5	0.02
4	2.70 ± 0.09	0.03	83.2 ± 1.5	0.02
5	2.73 ± 0.07	0.03	83.3 ± 1.5	0.02
6	2.66 ± 0.07	0.03	83.2 ± 1.6	0.02

Шляхом варіювання масової частки Тритон X-100 у розчині встановлено, що аналітичний сигнал мало залежить від вмісту ПАР у розчині при варіюванні концентрації ПАР від 3 до 6 %.

Максимальне значення аналітичного сигналу було отримано при додаванні в аналізовані та стандартні розчини Тритону X-100 з масовою часткою, що становить 5 %.

Table 4

**Influence of time of ultrasonic treatment on the content of Magnesium and Calcium obtained during their atomic absorption determination in whey (n = 5, P = 0.95) (n=5, P=0.95)**

Табл. 4

**Вплив часу обробки ультразвуком на вміст Магнію та Кальцію, отриманий при їх атомно-абсорбційному визначенні у сироватці (n=5, P=0.95)**

Час обробки УЗ, хв	Вміст Магнію, г/кг		Вміст Кальцію, мг/кг	
	$S_{\text{сер}} \pm \Delta$	$S_r$	$S_{\text{сер}} \pm \Delta$	$S_r$
10	2.73 ± 0.05	0.014	83.3 ± 1.5	0.011
15	2.85 ± 0.06	0.011	84.7 ± 1.5	0.012
20	2.79 ± 0.05	0.015	84.2 ± 1.5	0.017
25	2.76 ± 0.05	0.010	84.1 ± 1.6	0.013

При встановленні оптимального часу обробки ультразвуком розчини обробляли ультразвуком від 10 до 30 хв. При цьому отримують стабільні та однорідні розчини, які не розшарувалися протягом 6 діб. Залежність вмісту Магнію та Кальцію в сироватці від часу обробки ультразвуком наведено в табл. 4. Видно, що вже при 10 хв обробки ультразвуком досягаються стабільні значення аналітичного сигналу.

З метою визначення ступеню впливу комбінованої обробки ультразвуком та ПАР на аналітичний сигнал були приготовані розчини без та з добавками ПАР і отримані аналітичні сигнали для водних розчинів та розчинів з до-

бавками ПАР, оброблених ультразвуком. Ступінь впливу визначали за коефіцієнтом чутливості  $S$ , який розраховували як відношення тангенсів кутів нахилу градувальної функції  $\text{tg}\alpha_2/\text{tg}\alpha_1$ . Встановлено, що чутливість при додаванні Тритон X-100 та ультразвукової обробки при визначенні Магнію збільшилась приблизно в півтора, а Кальцію – в два рази.

Перевірку правильності результатів атомно-абсорбційного визначення Магнію та Кальцію в молочній сироватці проводили методом «введено-знайдено» (табл. 5). З отриманих даних видно, що введена добавка Магнію та Кальцію повністю відтворюється в межах випадкової похибки. Тобто матричний ефект відсутній.

Table 5

**Assessment of accuracy of the results of atomic absorption determination of Magnesium and Calcium in whey by the addition method**

Табл. 5

**Перевірка правильності результатів атомно-абсорбційного визначення Магнію та Кальцію у сироватці методом добавок (n=5, P=0.95)**

Елемент	Вміст	Введено	Знайдено	$S_r$	Ступінь повернення, %
Mg, мг/кг	2.9 ± 0.1	3.0	5.8	0.02	96.7
Ca, мг/кг	84.8 ± 1.5	100.0	185.9	0.02	101.1

При визначенні вмісту Магнію та Кальцію методом АЕС-ІЗП у розчинах молочної сироватки, які були оброблені ультразвуком та містили Тритон X-100, були отримані наступні результати. Вміст Магнію у молочній сироватці складав  $2.83 \pm 0.05$  г/кг,  $S_r = 0.01$ , а Кальцію –  $84.5 \pm 1.5$  мг/кг,  $S_r = 0.01$ . Порівнюючи ці результати з результатами, отриманими методом ААС (табл. 4), можна зробити висновок, що вони дуже близькі, і це ще раз підтверджує на-

дійність та правильність розроблених методик аналізу. При порівнянні результатів визначення Магнію методами ААС та АЕС-ІЗП отримані значення  $F$  1.40 та  $t$  0.75, а для Кальцію 2.31 та 1.11, відповідно. Всі ці значення менше табличних при рівні довірчої вірогідності 0.95.

Оцінку правильності визначення Магнію та Кальцію у сироватці також проводили методом варіювання маси зразку (табл. 6).

**Estimation of accuracy of determination of Magnesium and Calcium in whey by variation of sample mass (n=5, P=0.95)**

**Оцінка правильності визначення Магнію та Кальцію у сироватці методом варіювання маси зразка (n=5, P=0.95)**

Наважка сироватки, г	Вміст Mg, мг/кг		Вміст Ca, мг/кг	
	$S_{\text{сер}} \pm \Delta$	$S_r$	$S_{\text{сер}} \pm \Delta$	$S_r$
0.4	2.83 ± 0.06	0.02	84.7 ± 1.6	0.012
0.6	2.85 ± 0.07	0.01	84.8 ± 1.5	0.02
0.8	2.84 ± 0.06	0.01	84.7 ± 1.5	0.015

## Висновки

Вперше проведено комплексне дослідження вмісту лужних та лужноземельних елементів, у тому числі Натрію, Калію, Магнію та Кальцію у молочній сироватці та продуктах її переробки – пермеаті та ретентаті. Для оцінки вмісту вказаних елементів використані найбільш потужні і селективні атомно-спектроскопічні методи: полуменева ААС та АЕС-ІЗП. Результати визначення вказаних елементів добре узгоджуються між собою. Додатково правильність визначення була показана методами добавок та варіювання маси зразка. Показано, що введення ПАР Тритон Х-100 та обробка ультразвуком протягом 10 хв призводить до збільшення аналітичного сигналу: півторикратного при визначенні Кальцію, і двократного при визначенні Магнію. Результати можуть бути корисними при оцінці вмісту лужних та лужноземельних елементів у молочних продуктах.

## Bibliography

- [1] Onwulata C. I. Milk whey processes: current and future trends / C. I. Onwulata // *Whey Processing, Functionality and Health Benefits*. – Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2004. – P. 369–389.
- [2] Храмов А. Г. Феномен молочной сыворотки / А. Г. Храмов. СПб.: Профессия, 2011. – 804 с.
- [3] Нестеренко П. Г. Исторические аспекты использования и переработки сыворотки / П. Г. Нестеренко, И. А. Евдокимов, А. Г. Храмов // *Молочная промышленность*. – 2008. – № 11. – С. 32–34.
- [4] Переработка молочной сыворотки: понятная стратегия, реальные технологии, адекватные инвестиции, востребованные продукты / Д. Н. Володин, М. С. Золоторева, В. К. Топалов [и др.]. // *Молочная промышленность*. – 2015. – № 5. – 111 с.
- [5] Храмов А. Г. Технология продуктов из молочной сыворотки. А. Г. Храмов, П. Г. Нестеренко. – М.: ДеЛи принт, 2014. – 587 с.
- [6] Gupta C. Therapeutic potential of milk whey / C. Gupta, D. Prakash // *Beverages*. – 2017. – Vol. 3, N. 4. – P. 31.
- [7] Deeth H. C. *Whey proteins, from milk to medicine* / H. C. Deeth, N. Bansal. – Amsterdam: Elsevier, 2019. – 748 p.
- [8] Michaelidou A. Nutritional and technological aspects of minor bioactive components in milk and whey: growth factors, vitamins and nucleotides / A. Michaelidou, J. Steijns // *Int. Dairy J.* – 2006. – Vol. 16, N. 11. – P. 1421–1426.
- [9] *Bioactive components in milk and dairy products* / ed. Y. W. Park. – Wiley-Blackwell, 2009. – 426 p.
- [10] Реальные мембранные технологии / И. А. Евдокимов, А. С. Бессонов, М. С. Золоторева, А. П. Поверин // *Молочная промышленность*. – 2010. – № 1. – С. 49–50.
- [11] Евдокимов И. А. Мембранные технологии в молочном производстве / И. А. Евдокимов, Д. Н. Володин, В. С. Сомов [и др.] // *Молочная промышленность*. – 2013. – № 9. – С. 15–18.
- [12] Poitevin E. Official methods for the determination of minerals and trace elements in infant formula and milk products: a review / E. Poitevin // *Journal of AOAC Int.* – 2016. – Vol. 99, N. 1. – P. 42–52.
- [13] Pacquette L. H. Minerals and trace elements in milk, milk products, infant formula, and adult/pediatric nutritional formula, ICP-MS method: collaborative study, AOAC final action 2015.06, iso/dis 21424, idf 243 / L. H. Pacquette, J. J. Thompson, I. Malaviole [et al.] // *J. AOAC Int.* – 2018. – Vol. 101, N. 2. – P. 536–561.
- [14] Chmilenko F. A. Atomic absorption determination of metals in soils using ultrasonic sample preparation / F. A. Chmilenko, N. M. Smityuk, A. M. Baklanov // *J. Anal. Chem.* – 2002. – Vol. 57. – P. 313–318.
- [15] Chmilenko F. A. Ultrasonic intensification of sample preparation for the spectrophotometric determination of arsenic in foodstuffs / F. A. Chmilenko, A. M. Baklanov, L. P. Sidorova, [et al.] // *J. Anal. Chem.* – 2001. – Vol. 56. – P. 13–16.
- [16] Baklanov A. N. Use of ultrasound in sample preparation for the determination of mercury species by cold-vapor atomic absorption spectrometry / A. M. Baklanov, F. A. Chmilenko // *J. Anal. Chem.* – 2001. – Vol. 56, N. 7. – P. 641–646.
- [17] Baklanov A. N. Determination of alkali and alkaline-earth elements in table salt and sodium chloride by sonoluminescence / A. M. Baklanov, F. A. Chmilenko // *J. Anal. Chem.* – 2000. – Vol. 55, N. 12. – P. 1152–1154.
- [18] Карпов Ю. А. Методы пробоотбора и пробоподготовки / Ю. А. Карпов, А. П. Савостин. – М.: Издательство БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – С. 19.
- [19] Vishnikin A. B. Novel indirect spectrophotometric methods for determination of phosphate and arsenate using polyoxometalates and micellar medium / A. B. Vishnikin // *J. Molec. Liquids*. – 2005. – Vol. 118, N 1-3. – P. 51–55.
- [20] Yurchenko O. I. Increasing the sensitivity of atomic absorption determination of iron / O. I. Yurchenko, I. P. Kharenko // *J. Appl. Spectr.* – 2007. – Vol. 74, N 2. – P. 295–299.

## References

- [1] Onwulata, C. I. (2004). Milk whey processes: Current and future trends. In *Whey Processing, Functionality and Health Benefits*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9780813803845.ch14>
- [2] Hramcov, A. G. (2011). [The phenomenon of whey]. St.Petersburg: Professiya (in Russian).
- [3] Nesterenko, P. G., Evdokimov, I. A., Hramcov, A. G. (2008). [Historical aspects of the use and processing of whey] // *Molochnaya promyshlennost*. 11, 32-34 (in Russian).
- [4] Volodin, D. N., Zolotareva, M. S., Topalov, V. K., Evdokimov, I. A., Hramcov, A. G., Mertin, P. V. (2015). [Whey processing: clear strategy, real technology, adequate investment, sought after products]. *Molochnaya promyshlennost*. 5, 111 (in Russian).
- [5] Hramcov, A. G., Nesterenko, P. G. (2014). [Whey Products Technology]. M.: DeLi print, 2014. – 587 p. (in Russian).
- [6] Gupta, C., Prakash, D. (2017). Therapeutic Potential of Milk Whey. *Beverages*, 3(4), 31. <https://doi.org/10.3390/beverages3030031>
- [7] Deeth, H. C., Bansal, N. (2019). *Whey Proteins, from milk to medicine*. Amsterdam: Elsevier.
- [8] Michaelidou, A., Steijns, J. (2006). Nutritional and technological aspects of minor bioactive components in milk and whey: Growth factors, vitamins and nucleotides. *Int. Dairy J.* 16(11), 1421–1426. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2006.06.018>
- [9] Park, Y. W. (Ed.). (2009). *Bioactive Components in Milk and Dairy Products*. Wiley-Blackwell.
- [10] Evdokimov, I. A., Bessonov, A. S., Zolotareva, M. S., Poverin, A. P. (2010). [Real membrane technologies]. *Molochnaya promyshlennost*. 1, 49-50 (in Russian).
- [11] Evdokimov, I. A., Volodin, D. N., Somov, V. S., Chablin, B. V., Mihneva, V. A., Zolotareva, M. S. (2013). [Membrane technologies in dairy production]. *Molochnaya promyshlennost*. 9, 15-18 (in Russian).
- [12] Poitevin, E. (2016). Official Methods for the Determination of Minerals and Trace Elements in Infant Formula and Milk Products: A Review. *Journal of AOAC International*, 99(1), 42–52. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.15-0246>
- [13] Pacquette, L. H., Thompson, J. J., Malaviole, I., Zywicki, R., Woltjes, F., Ding, Y., Mittal, A. I., Sadipiralla, B., Kimura, S., Veltman, H., Miura, A. (2018). Minerals and trace elements in milk, milk products, infant formula, and adult/pediatric nutritional formula, ICP-MS method: Collaborative study, AOAC final action 2015.06, ISO/DIS 21424, IDF 243. *Journal of AOAC International*, 101(2), 536–561. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.17-0318>
- [14] Chmilenko, F. A., Smityuk, N. M., Baklanov, A. M. (2002). Atomic absorption determination of metals in soils using ultrasonic sample preparation. *J. Anal. Chem.* 57, 313–318. <https://doi.org/10.1023/A:1014946213773>
- [15] Chmilenko, F. A., Baklanov, A. M., Sidorova, L. P., Levedeva, E. V., Lebvedeva, A. V. (2001). Ultrasonic intensification of sample preparation for the spectrophotometric determination of arsenic in foodstuffs. *J. Anal. Chem.* 56, 13–16. <https://doi.org/10.1023/A:1026755025799>
- [16] Baklanov, A. M., Chmilenko, F. A. (2001). Use of ultrasound in sample preparation for the determination of mercury species by cold-vapor atomic absorption spectrometry. *J. Anal. Chem.* 56 (7), 641–646. <https://doi.org/10.1023/A:1016792205748>
- [17] Baklanov, A. M., Chmilenko, F. A. (2000). Determination of Alkali and Alkaline-Earth elements in table salt and sodium chloride by sonoluminescence. *J. Anal. Chem.* 55 (12), 1152–1154. <https://doi.org/10.1023/A:1026610919456>
- [18] Karpov, Yu. A., Savostin, A. P. (2015). [Sampling and sample preparation methods]. Moscow, Russian Federation: Izdatelstvo BINOM. Laboratoriya znanij (in Russian).
- [19] Vishnikin A. B. (2005) Novel indirect spectrophotometric methods for determination of phosphate and arsenate using polyoxometalates and micellar medium. *J. Molec. Liquids*, 118(1-3), 51-55. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2004.07.012>
- [20] Yurchenko, O. I., Kharenko, I. P. (2007). Increasing the sensitivity of atomic absorption determination of iron. *Journal of Applied Spectroscopy*, 74(2), 295–299. <https://doi.org/10.1007/s10812-007-0046-3>