

## Сравнение эффективности иммобилизации катионов на поверхности биополимерного носителя с целью использования полученной композиции в технологии хлебобулочных изделий



Мартин А. Саргсян<sup>1</sup> [mrmartinok@mail.ru](mailto:mrmartinok@mail.ru)  0000-0002-3786-1088  
Елена В. Белокурова<sup>1</sup> [zvezdamal@mail.ru](mailto:zvezdamal@mail.ru)  0000-0002-1955-8376

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

**Аннотация.** Разработка и оптимизация рецептов хлебобулочных изделий, подходящих для использования в рамках корректирующей диеты актуальна в регионах с выявленным дисбалансом необходимых для жизни нутриентов. В настоящее время наиболее часто обогащение производится путем внесения раствора необходимого компонента в блюдо на этапе приготовления, либо же на этапе производства компонентов пищи. В целях увеличения сохранности вносимой фазы закрепление необходимого эссенциального элемента производилось путем проведения физической иммобилизации на поверхности биополимерных носителей. В качестве элементов выступали магний, цинк и никель. Носителями выбраны природные сорбенты хитозан и целлюлоза. Растворы соединений элементов перемешивались с носителями на протяжении 30 минут, после чего настаивались в течение 24 часов. Полученная композиция отфильтровывалась и на основании разницы концентрации исходных растворов по отношению к фильтрату формировался вывод об эффективности протекания иммобилизации. В результате определения установлено успешное закрепление на поверхности хитозана соединений таких элементов, как Zn и Ni. Целлюлоза продемонстрировала слабое удержание иммобилизуемых компонентов, следовательно слабую механическую прочность в указанных условиях. По результатам исследования сформированы выводы об эффективности выбранных носителей.

**Ключевые слова:** эссенциальные элементы, иммобилизация, биополимерный носитель, магний, цинк, никель.

## Comparison of the effectiveness of immobilization of cations on the surface of a polymer carrier in order to use the resulting composition in the technology of bakery products

Martin A. Sargsyan<sup>1</sup> [mrmartinok@mail.ru](mailto:mrmartinok@mail.ru)  0000-0002-3786-1088  
Elena V. Belokurova<sup>1</sup> [zvezdamal@mail.ru](mailto:zvezdamal@mail.ru)  0000-0002-1955-8376

<sup>1</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

**Abstract.** In regions with an identified imbalance of nutrients necessary for life, the development and optimization of recipes for flour products is relevant. Basically, enrichment is carried out by adding a solution of the necessary component to a dish or enriching food components at the growth stage. In order to increase the safety of the introduced phase, the fixation was carried out by physical immobilization on the surface of biopolymer spouts. The elements were magnesium, zinc and nickel. Natural sorbents chitosan and cellulose were chosen as carriers. The solutions of the compounds of the elements were mixed with the carriers for 30 minutes, after which they were infused for 24 hours. The resulting composition was filtered out and based on the difference in the concentration of the initial solutions with respect to the filtrate, a conclusion was formed about the effectiveness of the immobilization process. As a result of the determination, the successful fixation of a zinc and nickel compound on the chitosan surface was established. Cellulose demonstrated weak retention of immobilized components. The reason for this is the weak mechanical strength of the selected conditions. Based on the results of the study, conclusions were formed about the effectiveness of the selected carriers.

**Keywords:** essential elements, immobilization, biopolymer carrier, magnesium, zinc, nickel.

### Введение

Сбалансированное питание является одним из важнейших принципов здорового образа жизни. Однако, региональные особенности территории производства продуктов питания, а также влияние антропогенного фактора на окружающую среду способны воздействовать на итоговый нутриентный состав готовой продукции. При этом, длительный и регулярный

дисбаланс потребляемых компонентов пищи может привести к развитию ряда осложнений, в том числе авитаминозов и микроэлементозов. В результате выявленного у человека острого дисбаланса эссенциальных элементов необходима коррекция рациона питания. Стоит помнить, что любой компонент пищи, употребляемый в избыточном количестве, оказывает на организм

Для цитирования

Саргсян М.А., Белокурова Е.В. Сравнение эффективности иммобилизации катионов на поверхности биополимерного носителя с целью использования полученной композиции в технологии хлебобулочных изделий // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 91–95. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-91-95

For citation

Sargsyan M.A., Belokurova E.V. Comparison of the effectiveness of immobilization of cations on the surface of a polymer carrier in order to use the resulting composition in the technology of bakery products. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 91–95. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-91-95

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

токсическое воздействие. Поэтому необходимость в подобной коррекции питания может возникнуть только после установленной этиологии связанной с гипо- или гиперэлементозами и витаминами [1–3].

Широкая общественность в меньшей мере проинформирована о том, что дефицит питательных микроэлементов является признанной проблемой глобального общественного здравоохранения, наряду с дефицитом витаминов. Хорошо известно, что малообеспеченные слои населения с нарушенным питанием подвержены более высокому риску инфицирования из-за дефицита макро- и микронутриентов. Недостаточное поступление эссенциальных микроэлементов с пищевыми продуктами и питьевой водой, может способствовать снижению рождаемости и увеличению смертности от заболеваний, связанных с нарушением питания, что становится актуальной проблемой человечества [4–7].

Среди способов решения проблемы микроэлементозов можно отметить обогащение пищевых продуктов необходимыми нутриентами. В настоящее время наиболее часто обогащение производится путем внесения раствора необходимого компонента в блюдо на этапе приготовления. Помимо этого, применяется так же обогащение на этапе производства компонентов пищи. Применение метода иммобилизации необходимых микроэлементов на поверхности биополимерного носителя может позволить увеличить сохраняемость вносимой фазы [8–10].

В связи с этим актуальным в современной пищевой промышленности представляется научно-практическое направление, связанное с разработкой и оптимизацией рецептур мучных изделий, подходящих для использования в рамках корректирующей диеты.

**Цель работы** – проведение иммобилизации эссенциальных микроэлементов на биополимерном носителе и количественное определение сохраняемого на поверхности носителя компонента.

### Материалы и методы

В качестве вносимой фазы были выбраны макроэлемент магний и микроэлемент цинк. Впоследствии, с целью сравнения также был использован неэссенциальный никель. Для наглядности протекания процесса сорбции использовались растворы с высокой концентрацией вносимого вещества. Были приготовлены 0,05 моль/дм<sup>3</sup> растворы сульфата магния, сульфата цинка и хлорида никеля.

Производился физический метод иммобилизации. В качестве носителей выступали

хитозан и целлюлоза. Предполагался механизм поверхностной адсорбционной иммобилизации соединения вносимых элементов [11].

Процесс иммобилизации представлял собой приготовление растворов вносимого элемента, перемешивание с носителем в следующем соотношении: на 100 мл раствора элемента брался  $2,000 \pm 0,001$  грамма сорбента. После чего производится 30 минутное перемешивание на лабораторном шейкере ПЭ-6410. Готовая проба закрывается пробкой и остается настаиваться 24 часа в условиях комнатной температуры, без доступа прямых лучей света.

Полученный продукт через 24 часа отфильтровывался через беззольный фильтр. Далее производилось высушивание в сушильном шкафу ES-4610 на протяжении 1 часа при температуре в 100–150 °С до постоянной массы. В случае необходимости сушка продолжалась. Подразумевается внедрение готового носителя с элементами в рецептуры хлебобулочных изделий на этапе замеса теста. Хранить готовую композицию необходимо в сухом, защищенном от света, недоступном для детей месте при температуре не выше 25 °С.

Определение количества сохраняемого на носителе элемента производилось путем исследования фильтрата, остающегося после 24 часовой выдержки сорбента. На основании разницы в концентрации между исходным раствором и раствором фильтрата был сделан вывод об эффективности иммобилизации.

За основу определения взят комплексометрический метод определения содержания основного вещества. В качестве установочного вещества использовался приготовленный из фиксанала раствор ЭДТА, 0,05 моль/дм<sup>3</sup>. Исходные растворы солей прошли стандартизацию по данному раствору ЭДТА. Далее, в колбу коническую отбирали 25 мл пробы фильтрата, титрование проводили в присутствии аммиачного буфера и индикатора эриохрома черного или мурексиды, в зависимости от определяемого элемента. Расчет итоговой концентрации производился согласно закону эквивалентов [12–20].

### Результаты и обсуждение

По результатам трех титрований для каждого элемента определялось среднее значение, исходя из которого и производился расчет концентрации. Концентрация исходных растворов составляла: 0,05 моль/дм<sup>3</sup> для сульфата магния, 0,048 моль/дм<sup>3</sup> для сульфата цинка и 0,05 моль/дм<sup>3</sup> для хлорида никеля.

Таблица 1.

Объем ЭДТА ушедший на титрование фильтратов сорбентов

Table 1.

The volume of EDTA spent on titration of sorbent filtrates

Носители   Carrier	Объем, ушедший на титрование, мл   Volume spent on titration, ml		
	MgSO <sub>4</sub>	ZnSO <sub>4</sub>	NiCl
Хитозан   Chitosan	25,0	10,8	16,2
Целлюлоза   Cellulose	25,0	25,0	24,9

Анализ результатов демонстрирует практически полное отсутствие сохранения соединения элементов на поверхности целлюлозы. Данное явление, вероятно, обусловлено не специфичностью, а также низкой механической прочностью целлюлозы в выбранных условиях. Полученные значения позволяют сделать вывод о неэффективности дальнейшего использования целлюлозы в качестве носителя выбранных элементов.

Согласно зафиксированным результатам, хитозан успешно справился с сорбцией соединений цинка и никеля, при этом полностью не адсорбировал соединение магния. Предположением причины эффективности закрепления катионов, расположенных в электрохимическом ряду напряжения после Mg, может быть увеличение окислительной способности данных элементов. Потенциально – молекулы, образованные из элементов от Mg и левее, менее реакционноспособны. Однако, данное заключение объективно только, в случае фиксации протекания реакции. Первоначально, в выбранных условиях не подразумевалось протекания реакции, несмотря на высокую активность хитозана, имеющего в своем строении мономерного звена аминокислотной группы. Данный вопрос требует дальнейшего изучения, с целью определения точного механизма протекания сорбции.

С учетом изначальной концентрации раствора цинка, предполагаемая разница в концентрации ZnSO<sub>4</sub>, после сорбции на поверхности хитозана, должна составлять ~ 0,027 моль/дм<sup>3</sup>.

Согласно описанным выше результатам, приблизительное процентное соотношение сохраняемого сульфата цинка на хитозане должно составлять порядка 56% от исходного раствора.

С учетом изначальной концентрации раствора никеля, предполагаемая разница в концентрации NiCl, после сорбции на поверхности хитозана, должна составлять ~ 0,032 моль/дм<sup>3</sup>. Согласно описанным выше результатам, приблизительное процентное соотношение сохраняемого сульфата цинка на хитозане должно составлять порядка 36% от исходного раствора (таблица 1).

### Заключение

Установлено успешное закрепление на поверхности хитозана, соединения таких элементов, как Zn, Ni. Имобилизация соединения Mg не дала удовлетворительных результатов на обоих носителях. Необходимо удостовериться в механизме протекания сорбции. Поэтому, в дальнейшем необходимо построение изотермы сорбции хитозана, для получения достоверного результата механизмов имобилизации и определения рабочего диапазона концентрации элемента.

Полученные результаты показывают перспективность использования хитозана в качестве носителя эссенциальных элементов. Готовая композиция будет использована в оптимизации рецептур и расширении ассортимента хлебобулочных изделий за счет увеличения их пищевой ценности.

### Литература

- 1 Venkatesh U., Sharma A., Ananthan V., Subbiah P. et al. Micronutrient's deficiency in India: A systematic review and meta-analysis // Journal of Nutritional Science. 2021. V. 10. P. E110. doi:10.1017/jns.2021.102
- 2 Hicks C.C., Cohen P.J., Graham N.A.J. et al. Harnessing global fisheries to tackle micronutrient deficiencies // Nature. 2019. V. 574. №. 7776. P. 95-98. doi: 10.1038/s41586-019-1592-6
- 3 Stevens G.A., Beal T., Mbuya M.N., Luo H. et al. Micronutrient deficiencies among preschool-aged children and women of reproductive age worldwide: a pooled analysis of individual-level data from population-representative surveys // The Lancet Global Health. 2022. V. 10. №. 11. P. e1590-e1599. doi: 10.1016/S2214-109X(22)00367-9.
- 4 Cantwell-Jones A., Ball J., Collar D. et al. Global plant diversity as a reservoir of micronutrients for humanity // Nature Plants. 2022. V. 8. №. 3. P. 225-232. doi: 10.1038/s41477-022-01100-6
- 5 Vilar-Compte M., Burrola-Méndez S., Lozano-Marrufo A., Ferré-Eguiluz I. et al. Urban poverty and nutrition challenges associated with accessibility to a healthy diet: a global systematic literature review // International Journal for Equity in Health. 2021. V. 20. P. 1-19. doi: 10.1186/s12939-020-01330-0
- 6 Горбачев А.Л. Проблемные вопросы минерального обмена у жителей арктических территорий // Научный медицинский вестник Югры. 2022. Т. 31. № 1. С. 52–61. doi: 10.25017/2306-1367-2022-31-1-52-61

- 7 Сальникова Е.В., Бурцева Т.И., Скальный А.В. Региональные особенности содержания микроэлементов в биосфере и организме человека // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. № 2. С. 148–152. doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-2-148-152
- 8 Пат. № 2701647, RU, A23L 7/10, A23L 7/20. Способ обогащения солода селеном / Франтенко В.К., Кацурба Т.В. № 2019122128; Заявл. 15.07.2019; Оpubл. 30.09.2019.
- 9 Пат. № 2676954, RU, A23C 9/12, A23C 9/142. Способ производства синбиотического продукта, обогащенного витаминно-минеральными комплексами / Донских А.Н., Анисимов Г.С., Артамонов И.Б., Медвецкая А.В. № 2017125743; Заявл. 18.07.2017; Оpubл. 11.01.2019.
- 10 Пат. № 2765999, RU, A23L 33/16, A23L 33/165. Биологически активная добавка к пище, содержащая неионные формы йода и селена / Ариповский А.В., Гриневская Е.М., Дельцов А.А., Шантыз А.Х. № 2021119005; Заявл. 29.06.2021; Оpubл. 07.02.2022.
- 11 Белокурова Е.В., Саргсян М.А. Выбор носителя для проведения физической иммобилизации микроэлементов на его поверхности // Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение: сборник научных статей и докладов IX Международной научно-практической конференции, Воронеж, 15–17 декабря 2022 года. Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2023. С. 288–291.
- 12 Белокурова Е.В., Саргсян М.А. Возможности и условия сорбционной иммобилизации микроэлементов, для последующего применения в пищевой промышленности // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2022. № 4. С. 142–147.
- 13 ГОСТ 10398–76. Реактивы и особо чистые вещества. Комплексонометрический метод определения содержания основного вещества (с Изменениями № 1, 2, 3). Москва: Стандартинформ, 2018. 18 с.
- 14 Rustemova A., Kydyraliev N., Kirillova T., Sadygova M. et al. Modeling of recipes of special purpose bakery products // BIO Web of Conferences. EDP Sciences, 2020. V. 27. P. 00017.
- 15 Hecker F.T., Hussein W.B., Paquet-Durand O., Hussein M.A. et al. A case study on using evolutionary algorithms to optimize bakery production planning // Expert Systems with Applications. 2013. V. 40. №. 17. P. 6837-6847. doi: 10.1016/j.eswa.2013.06.038
- 16 Zhuravlev A.A., Lukina S.I., Ponomareva E.I., Roslyakova K.E. et al. Optimization of technological parameters of preparation of dough for rusks of high nutrition value // Foods and Raw materials. 2017. V. 5. №. 1. P. 73-80.
- 17 Krivosheev A.Y., Ponomareva E.I., Zhuravlev A.A., Lukina S.I. et al. Modeling and optimization of dough recipe for breadsticks // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2018. V. 1015. №. 3. P. 032105. doi: 10.1088/1742-6596/1015/3/032105
- 18 Ureta M.M., Olivera D.F., Salvadori V.O. Baking of muffins: Kinetics of crust color development and optimal baking time // Food and bioprocess technology. 2014. V. 7. P. 3208-3216.
- 19 Draz M.E., Saad A.S., El Sherbiny D., Wahba M.E. Experimentally designed potentiometric sensor for green real-time and direct assay of hazardous bromate in bakery products // Food Chemistry. 2023. V. 406. P. 135042. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.135042
- 20 Szydłowska-Czerniak A., Poliński S., Momot M. Optimization of ingredients for biscuits enriched with rapeseed press cake—Changes in their antioxidant and sensory properties // Applied Sciences. 2021. V. 11. №. 4. P. 1558.

## References

- 1 Venkatesh U., Sharma A., Ananthan V., Subbiah P. et al. Micronutrient's deficiency in India: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Nutritional Science*. 2021. vol. 10. pp. E110. doi:10.1017/jns.2021.102
- 2 Hicks C.C., Cohen P.J., Graham N.A.J. et al. Harnessing global fisheries to tackle micronutrient deficiencies. *Nature*. 2019. vol. 574. no. 7776. pp. 95-98. doi: 10.1038/s41586-019-1592-6
- 3 Stevens G.A., Beal T., Mbuya M.N., Luo H. et al. Micronutrient deficiencies among preschool-aged children and women of reproductive age worldwide: a pooled analysis of individual-level data from population-representative surveys. *The Lancet Global Health*. 2022. vol. 10. no. 11. pp. e1590-e1599. doi: 10.1016/S2214-109X(22)00367-9
- 4 Cantwell-Jones A., Ball J., Collar D. et al. Global plant diversity as a reservoir of micronutrients for humanity. *Nature Plants*. 2022. vol. 8. no. 3. pp. 225-232. doi: 10.1038/s41477-022-01100-6
- 5 Vilar-Compte M., Burrola-Méndez S., Lozano-Marrufo A., Ferré-Eguiluz I. et al. Urban poverty and nutrition challenges associated with accessibility to a healthy diet: a global systematic literature review. *International Journal for Equity in Health*. 2021. vol. 20. pp. 1-19. doi: 10.1186/s12939-020-01330-0
- 6 Gorbachev A.L. Problematic issues of mineral metabolism among residents of the Arctic territories. *Scientific Medical Bulletin of Ugra*. 2022. vol. 31. no. 1. pp. 52–61. doi: 10.25017/2306-1367-2022-31-1-52-61 (in Russian).
- 7 Salsnikova E.V., Burtseva T.I., Skalny A.V. Regional features of the content of microelements in the biosphere and the human body. *Hygiene and Sanitation*. 2019. vol. 98. no. 2. pp. 148–152. doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-2-148-152 (in Russian).
- 8 Frantenko V.K., Katsurba T.V. Method for enriching malt with selenium. Patent RF, no. 2701647, 2019.
- 9 Donskikh A.N., Anisimov G.S., Artamonov I.B., Medvetskaya A.V. Method for producing a synbiotic product enriched with vitamin-mineral complexes. Patent RF, no. 2676954, 2019.
- 10 Aripovsky A.V., Grinevskaya E.M., Deltsov A.A., Shantyz A.Kh. Biologically active food supplement containing nonionic forms of iodine and selenium. Patent RF, no. 2765999, 2022.
- 11 Belokurova E.V., Sargsyan M.A. Selection of a carrier for physical immobilization of microelements on its surface. *Food security: scientific, personnel and information support: collection of scientific articles and reports of the IX International Scientific and Practical Conference, Voronezh, December 15–17, 2022. Voronezh, Voronezh State University of Engineering Technologies*, 2023. pp. 288–291. (in Russian).

12 Belokurova E.V., Sargsyan M.A. Possibilities and conditions for sorption immobilization of microelements for subsequent use in the food industry. Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products. 2022. no. 4. pp. 142–147. (in Russian).

13 GOST 10398–76. Reagents and highly pure substances. Complexometric method for determining the content of the main substance (with Amendments No. 1, 2, 3). Moscow, Standardinform, 2018. 18 p. (in Russian).

14 Rustemova A., Kydyraliev N., Kirillova T., Sadygova M. et al. Modeling of recipes of special purpose bakery products. BIO Web of Conferences. EDP Sciences, 2020. vol. 27. pp. 00017.

15 Hecker F.T., Hussein W.B., Paquet-Durand O., Hussein M.A. et al. A case study on using evolutionary algorithms to optimize bakery production planning. Expert Systems with Applications. 2013. vol. 40. no. 17. pp. 6837–6847. doi: 10.1016/j.eswa.2013.06.038

16 Zhuravlev A.A., Lukina S.I., Ponomareva E.I., Roslyakova K.E. et al. Optimization of technological parameters of preparation of dough for rusks of high nutrition value. Foods and Raw materials. 2017. vol. 5. no. 1. pp. 73–80.


17 Krivosheev A.Y., Ponomareva E.I., Zhuravlev A.A., Lukina S.I. et al. Modeling and optimization of dough recipe for breadsticks. Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2018. vol. 1015. no. 3. pp. 032105. doi: 10.1088/1742-6596/1015/3/032105


18 Ureta M.M., Olivera D.F., Salvadori V.O. Baking of muffins: Kinetics of crust color development and optimal baking time. Food and bioprocess technology. 2014. vol. 7. pp. 3208–3216.

19 Draz M.E., Saad A.S., El Sherbiny D., Wahba M.E. Experimentally designed potentiometric sensor for green real-time and direct assay of hazardous bromate in bakery product. Food Chemistry. 2023. vol. 406. pp. 135042. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.135042

20 Szydłowska-Czerniak A., Poliński S., Momot M. Optimization of ingredients for biscuits enriched with rapeseed press cake—Changes in their antioxidant and sensory properties. Applied Sciences. 2021. vol. 11. no. 4. pp. 1558.

#### Сведения об авторах

**Мартин А. Саргсян** аспирант, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, mrmartinok@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-3786-1088>

**Елена В. Белокурова** к.т.н., доцент, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, zvezdamal@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-1955-8376>


#### Вклад авторов


Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about authors

**Martin A. Sargsyan** graduate student, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, mrmartinok@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-3786-1088>

**Elena V. Belokurova** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, zvezdamal@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-1955-8376>

#### Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

<b>Поступила</b> 10/03/2023	<b>После редакции</b> 28/03/2023	<b>Принята в печать</b> 18/04/2023
<b>Received</b> 10/03/2023	<b>Accepted in revised</b> 28/03/2023	<b>Accepted</b> 18/04/2023