

Исследовательская статья

DOI 10.69540/2949-4079.2025.25.83.003

УДК 664.664.9

МЕХАНИЗМЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ, ОБОГАЩЕННЫХ ПРОИЗВОДНЫМИ ТАУРИНА

***Е.В. Кузнецова, Р.Р. Максюттов, С.Е. Ларионова,
А.Р. Матайтис, И.А. Денисов***

*Московский государственный университет технологий и управления
им. К.Г. Разумовского, Москва*

Аннотация:

Окислительный стресс, индуцированный внешними и эндогенными факторами, вызывает типичные структурные повреждения миокарда через механизмы окислительной модификации белков с участием активных форм кислорода — $O_2\bullet$, $O_2H\bullet$, $OH\bullet$, $OCI-$, H_2O_2 и $ONOO^-$. Патогенетически обосновано включение антиоксидантов натурального генеза в состав комплексной терапии при остром инфаркте миокарда и хронической сердечной недостаточности.

Цель настоящего исследования — разработка инновационных технологий производства хлебобулочных изделий, обогащенных тауратом кальция, реализующим полифункциональные свойства. Приоритет исследований в рассматриваемой области знаний подтвержден патентом РФ № 2767994 от 22.03.2022. В качестве объектов исследования представлены пшеничные сорта хлеба двух образцов: 1 — контроль, 2 — опыт, содержащий в качестве полифункционального ингредиента производное таурина — таурат кальция (бис (2-аминоэтан-1-сульфонат) Ca) в количестве 3,3 г/1000 г муки. Исследования методами физико-химического анализа свидетельствовали о позитивном влиянии бинарного комплекса таурата кальция на качественные показатели в опытном образце: так, содержание кальция составило 759 мг/1000 г, значение кислотности — 1,8 °Т, удельный объем готовой продукции — 300 см³/100 г, пористость — 76,2 % в опытном образце против 178 мг/1000 г, 2 °Т, 280 см³/100 г и 75,1 % соответственно в контроле. Оценка степени обсемененности готовой продукции методами микробиологического анализа показала, что металлоорганический комплекс — таурат кальция — дает выраженный микоцидный эффект: на третьи сутки хранения готовой продукции содержание плесневых грибов в контроле

составило $4,5 \cdot 10^4$ КОЕ/г против $1 \cdot 10^2$ КОЕ/г в опытном образце. Проведенный анализ структуры таурата кальция, который представляет дипольную молекулу, способную к депротонированию, объясняет механизмы реализации его антиоксидантных, гидрофильных, бактериостатических и микоцидных свойств. Хлебобулочные изделия, обогащенные тауратом кальция, рекомендуются для включения в состав комплексной терапии сердечно-сосудистых заболеваний как средство, дающее системный гемостатический и мембраностабилизирующий эффекты. Кардиопротективные свойства полифункционального бинарного комплекса реализуются посредством активации ферментов эндогенной антиоксидантной системы — Fe, Cu, Zn-зависимой супероксиддисмутазы и Se-зависимой глутатионпероксидазы.

Ключевые слова: хлебобулочные изделия, таурин, таурат кальция, кардиопротективные свойства, антиоксидантная активность

Research article

MECHANISMS OF REALIZATION OF MULTIFUNCTIONAL PROPERTIES OF BAKERY PRODUCTS ENRICHED WITH TAURINE DERIVATIVES

E.V. Kuznetsova, R.R. Maksyutov, S.E. Larionova, A.R. Mataytis, I.A. Denisov

K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Moscow

Abstract:

Oxidative stress induced by external and endogenous factors causes typical structural damage to the myocardium through mechanisms of oxidative modification of proteins involving reactive oxygen species — $O_2^\bullet$, $O_2H^\bullet$, $OH^\bullet$, OCI^- , H_2O_2 and $ONOO^-$. The inclusion of natural antioxidants in complex therapy for acute myocardial infarction and chronic heart failure is pathogenetically proved.

The purpose of this study is to develop innovative technologies for the production of bakery products enriched with calcium taurate, which implements multifunctional properties. The priority of research in the field of knowledge under consideration is confirmed by the Patent RU 2767994, 03.22.2022. The objects of the study were wheat bread varieties of 2 samples: sample 1-control, sample 2-experiment, containing as a polyfunctional ingredient a taurine derivative – calcium taurate (bis (2-aminoethane-1-sulfonate) Ca) in the amount of 3,3 g/1000 g of flour. Studies using physicochemical analysis methods showed a positive effect

of the binary calcium taurate complex on the quality indicators in the test sample: thus, the calcium content was 759 mg/1000 g, the acidity value was 1,8 °T, the specific volume of the finished product was 300 cm³/100 g, porosity was 76,2 % in the test sample versus 178 mg/1000 g, 2 °T, 280 cm³/100 g and 75,1 %, respectively, in the control. An assessment of the degree of contamination of finished products using microbiological analysis methods showed that the organometallic complex, calcium taurate, exhibited a pronounced mycocidal effect: on the 3rd day of storage of finished products, the content of mold fungi in the control was 4,5·10⁴ CFU/g versus 1·10² CFU/g in the test sample. The conducted analysis of the structure of calcium taurate, which is a dipole molecule capable of deprotonation, explains the mechanisms of implementation of its antioxidant, hydrophilic, bacteriostatic and mycocidal properties. Bakery products enriched with calcium taurate are recommended for inclusion in the complex therapy of cardiovascular diseases as a means of exhibiting systemic hemostatic and membrane-stabilizing effects. The cardioprotective properties of the polyfunctional binary complex are realized through the activation of enzymes of the endogenous antioxidant system — Fe, Cu, Zn-dependent superoxide dismutase and Se-dependent glutathione peroxidase.

Keywords: bakery products, taurine, calcium taurate, cardioprotective properties, antioxidant activity

Одним из наиболее важных микроэлементов для организма человека является кальций, общее содержание которого в органах и тканях достигает 1,2 кг. Одна из важнейших функций этого металла — участие в регуляции мышечной сократимости скелетной мускулатуры, гладкой мышечной ткани и сердечной мышцы. Саркоплазматический ретикулум в клетках миокарда является своеобразным депо ионизированного кальция, который поддерживает уровень Ca⁺⁺ в покое мышце ниже определенной концентрации (ниже 10⁻⁷ М), при достижении которой мышечные волокна теряют способность к укорочению в присутствии аденозинтрифосфата мацерации¹². Согласно современным представлениям, сокращение миокарда — результат внезапного изменения проницаемости мембран и выхода ионов кальция из саркоплазматической сети и Т-системы в межфибрилярное пространство. Концентрация Ca⁺⁺ в цистернах саркоплазматического ретикулаума намного выше, чем в цитозоле, что обеспечивается работой Ca²⁺-зависимой АТФ-азой

¹² Березов Т.Т., Коровкин Б.Ф. Биологическая химия: Учебник для студентов медицинских вузов. 3-е изд., стереотип. М.: «Медицина», 2008. 704 с.

и специфическим белком кальсеквестрином (CASQ2), одна молекула которого связывает от 18 до 50 ионов Ca^{++} ¹³.

Биохимические изменения в сердечной мышце при патологии сопровождаются истощением энергетических ресурсов и нарушением мембранной проницаемости. Существенные нарушения целостности мембранных резервуаров, поддерживающих внутриклеточную концентрацию Ca^{++} , обуславливают торможение функций мышечных клеток и деструкцию их ионов¹⁴. В связи с этим назначение средств с мембранопротективной активностью позволяет стабилизировать ионный состав в миоцитах, в том числе уровень кальция в саркоплазме и саркоплазматическом ретикулуме.

Цель настоящего исследования — разработка состава и технологии промышленного производства хлебобулочных изделий с кардиопротективной активностью на основе Са-содержащих производных таурина.

В качестве субстрата для потенцирования функциональных свойств хлебобулочных изделий в настоящей работе использован бис (2-аминоэтан-1-сульфонат) кальция (ТauСа), синтезированный в качестве средства, проявляющего системный гомеостатический эффект (патент РФ 2640131). Основой бис (2-аминоэтан-1-сульфонат) кальция (Рис. 1, б) является условно незаменимая серосодержащая аминокислота таурин (Тau), образующаяся эндогенно из цистеина и метионина (Рис. 1, а).

Структура 2-аминоэтансульфоновой кислоты (таурина) и таурата кальция представлена на Рис. 1.



Рис. 1. Структурная формула таурина (а) и его производного бис (2-аминоэтан-1-сульфонат) кальция (б)

Приоритет исследований в рассматриваемой области знаний подтвержден патентом РФ № 2767994 от 22.03.2022 «Способ производства хлебобулочных изделий, обогащенных кальцием»¹⁵.

¹³ Покровский В.М., Коротько Г.Ф. Физиология человека: Учебник. М.: «Медицина», 2013. 664 с.

¹⁴ Покровская Е.М., Гордеев И.Г., Волов Н.А., Кокорин В.А. Таурин в клинике внутренних болезней // Российский кардиологический журнал. 2011. № 1. С. 56–60.

¹⁵ Патент № 2767994 С1, Российская Федерация, МПК А21D 2/08. Способ

Объекты исследования — пшеничные сорта хлебобулочных изделий двух образцов: образец 1 — контроль; образец 2 — опыт. Опытный образец в качестве функционального ингредиента содержит производное таурина — таурат кальция (бис (2-аминоэтан-1-сульфонат) Ca) из расчета 3,3 г ТауСа/1000 г муки.

Алгоритм технологии производства хлебобулочных изделий, обогащенных органоминеральным комплексом таурата кальция: растворение ТауСа, приготовление дрожжевой закваски с внесением поваренной соли и кальцийсодержащей биологически активной субстанции в соответствии с формулой патента № 2767994 — 0,3—0,7 % к массе муки, безопарный замес теста, разделка, расстойка и выпечка.

В готовых изделиях в соответствии с требованиями ГОСТ 27669 проводили физико-химические и микробиологические исследования по следующим параметрам: влажность — ГОСТ 21094 «Изделия хлебобулочные. Методы определения влажности»; плотность — ГОСТ 5669 «Хлебобулочные изделия. Метод определения плотности»; кислотность — ГОСТ 5670 «Хлебобулочные изделия. Метод определения кислотности»; количественная оценка содержания таксономических групп микроорганизмов (бактерии, плесень) — ГОСТ 10444.15 «Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов».

Результаты собственных исследований. В ходе проведенных исследований установлено, что хлебобулочные изделия 2-й и 1-й групп существенно не отличались по таким анализированным параметрам, как форма, поверхность, цвет, вкус, структура и эластичность. Однако таурат кальция существенно влиял на формирование пор в структуре мякиша: если контроль (пористость 75,1 %) характеризовался наличием пор мелкого и среднего размеров, то в опытном образце (пористость 76,2 %) наблюдались мелкие поры с равномерным их распределением в объеме мякиша (Табл. 1).

Табл. 1. Показатели качества готовой продукции в сравнительном аспекте

Наименование исследуемых образцов	Пористость, %	Кислотность, град.	Удельный объем, см ³ /100 г	Содержание кальция, мг/1000 г хлеба
-----------------------------------	---------------	--------------------	--	-------------------------------------

производства хлебобулочных изделий, обогащенных кальцием: заявл. 04.05.2021; опубл. 22.03.2022 / П.П. Пурыгин, В.А. Ермохин, А.В. Самородов и др.

Контрольный образец (№ 1)	75,1	2	280	178
Опытный образец (№ 2)	76,2	1,8	300	759

Таурат кальция, как продемонстрировали исследования, оказывает позитивное влияние на такой объективный показатель качества хлеба, как кислотность: значение кислотности в опыте составило 1,8 °Т против 2 °Т в контроле. Удельный объем готовой продукции увеличился с 280 см³/100 г (контроль) до 300 см³/100 г (опыт). Кальций-содержащий бинарный комплекс (ТауСа) обеспечил повышение уровня содержания полнотропного функционального ингредиента (Са²⁺) в готовом продукте до 759 мг/1000 г против 178 мг/1000 г в контроле (Табл. 1).

Результаты микробиологических исследований свидетельствовали о реализации бактериостатических свойств таурата кальция на этапах хранения готовых хлебобулочных изделий (Табл. 2).

Табл. 2. Оценка степени обсемененности микрофлорой готовой продукции на этапах хранения

Наименование исследуемых образцов	Срок хранения					
	через 48 ч ГОСТ Р 58233-2018		через 60 часов		через 72 часов	
	КМА- ФАнМ, КОЕ/г, не более	Пле- сени, КОЕ/г, не более	КМА- ФАнМ, КОЕ/г, не более	Пле- сени, КОЕ/г, не более	КМА- ФАнМ, КОЕ/г, не более	Пле- сени, КОЕ/г, не более
Контроль (№ 1)	1·10 ³	50	3,6·10 ⁴	1,3·10 ²	7,2·10 ⁴	4,5·10 ⁴
Опыт (№ 2)	1·10 ³	50	4,5·10 ⁵	менее 1·10	5,4·10 ⁴	1·10 ²

Как видно из данных Табл. 2, таурат кальция ингибировал процессы размножения плесени, аэробных и факультативно — анаэробных микроорганизмов в опытном образце: через 72 часа после выпечки хлеба уровень бактериальный обсемененности в опытном образце составил 5,4·10⁴ КОЕ/г против 7,2·10⁴ КОЕ/г в контроле. Металлорганический комплекс бис (2-аминоэтан-1-сульфонат) кальция давал выраженный микоцидный эффект: отмечено снижение содержания плесневых гри-

бов с $4,5 \cdot 10^4$ КОЕ/г (контроль) до $1 \cdot 10^2$ КОЕ/г в опытном образце на третьи сутки хранения готовых продуктов (Табл. 2).

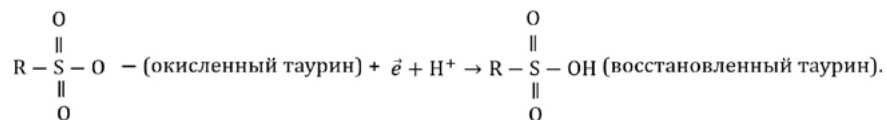
Функциональные группы таурина — гидроксильная (ОН) и аминогруппа (NH_2) проявляли выраженные гидрофильные свойства, что существенно влияло на показатель влажности инновационного продукта: на третьи сутки хранения показатель влажности в опытном образце составил 29,7 % против 29,0 % в контрольном. Механизмы повышения гидрофильности мякиша хлеба реализуются за счет дипольных водородных связей, возникающих между атомом водорода воды с отрицательным полюсом таурина, входящего в состав бис (2-аминоэтан-1-сульфонат) Са.

Выявленные в ходе проведенных исследований эффекты таурина — антиоксидантный, бактериостатический, микоцидный и гидрофильный — обеспечили сохранение параметров, определяющих качество и органолептические свойства хлебобулочных изделий.

Заключение. Таурат кальция реализует *in vivo* широкий спектр физиологических эффектов. Согласно современным представлениям, 2-амино-этансульфоновая кислота, входящая в бинарный комплекс, реализует антиоксидантный и, следовательно, мембраностабилизирующий эффект. При диссоциации таурата кальция $(\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{SO}_3)_2\text{Ca}$

на ионы кальция и таурин $(\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{S}-\text{O}-)$ последний

способен ингибировать реакции образования супероксиданиона кислорода ($\text{O}_2^{\cdot-}$) путем перехвата свободных электронов (e^-) и протонов (H^+):



2-аминэтансульфоновая кислота ингибирует реакции ПОЛ, блокируя процессы образования АФК — $\text{O}_2^{\cdot-}$, $\text{O}_2\text{H}^{\cdot}$, $\text{OH}^{\cdot}$, $\text{OCl}^{\cdot-}$, H_2O и ONOO^- ¹⁶. Таурин, представляющий собой по структуре цвиттер-ион, способен восстанавливать структуру мембран, в том числе саркоплазматического ретикулума, блокированием реакций гликозирования белков: NH_2 -группы таурина, вступая в ковалентную связь с карбоксильными группами белковых структур, предотвращают

¹⁶ Мамцев А.Н., Козлов В.Н., Пономарев Е.Е., Шиянова Н.И. Влияние комплекса «йод—хитозан» на процессы свободнорадикального перекисного окисления липидов *in vitro* // Известия Уфимского научного центра РАН. 2016. № 3-1. С. 140–142.

взаимодействие последних с углеводами (глюкоза, мальтоза, лактоза). Широко распространенный путь профилактики липопероксидации биомембран — восстановление свободных радикалов ($R\bullet$) с участием биомолекул — доноров атомов водорода: $ROO\bullet$ (пероксидный радикал) + RH (донор атомов водорода) $\rightarrow ROOH$ (восстановленный радикал) + $R\bullet$ донора¹⁷. Таурин способен участвовать в реакциях ингибирования процессов липопероксидации биомембран, в том числе кардиомиоцитов, выступая в качестве донора атомов водорода гидроксильной группы, связанной с атомом серы (Рис. 1).

Мембраностабилизирующий эффект таурина и его производных реализуется путем восстановления соотношений фосфотидилэтанола, фосфотидилхолина и холестерина в клеточных и субклеточных мембранах¹⁸. Усиленная генерация АФК в участках ишемизированного миокарда сопровождается изменениями реологических свойств крови — увеличивается ее вязкость, усиливаются процессы агрегации эритроцитов, препятствующие микроциркуляции¹⁹. Антиоксидантная терапия, как показали исследования, позволяет снизить тяжесть гемореологических расстройств при ишемии и инфаркте миокарда²⁰. В ходе экспериментальных и клинических исследований установлено, что Тау способен *in vivo* потенцировать активность ферментов эндогенной антиоксидантной системы — супероксиддисмутазы и глутатионпероксидазы, катализирующих реакции дисмутации $O_2\bullet$ и H_2O_2 до молекулярного кислорода и воды²¹.

Таурат кальция, наряду с вышеперечисленными эффектами, оказывает влияние на систему гемостаза, проявляя проагрегантную

¹⁷ Багаутдинов А.М., Байматов Н.В., Муллагулова Г.М. и др. Радиозащитные свойства низкомолекулярных биологически активных метаболитов экстракта люцерны посевной в профилактике радиационно-индуцированных повреждений печени // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2024. № 2 (70). С. 34–41; Мамцев А.Н., Козлов В.Н., Пономарев Е.Е., Шиянова Н.И. Влияние комплекса «йод—хитозан» на процессы свободнорадикального перекисного окисления... С. 140–142.

¹⁸ Огай М.А., Степанова Э.Ф., Холодов Д.Б., Николаевский В.А. Антиоксидантный и мембраностабилизирующий эффект таурина // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2011. № 1. С. 186–191.

¹⁹ Покровская Е.М., Гордеев И.Г., Волов Н.А., Кокорин В.А. Таурин в клинике внутренних болезней. С. 56–60.

²⁰ Джонг Чжан Джу, Сандап П., Шаффер С.В. Роль таурина в «здоровье» митохондрий: больше, чем просто антиоксидант // Эндокринология: Новости. Мнения. Обучение. 2021. № 4 (37). С. 115–128.

²¹ Покровский В.М., Коротько Г.Ф. Физиология человека: Учебник. М.: «Медицина», 2013. 664 с

активность относительно тромбоцитов (патент РФ № 2640131): так, экспериментально на лабораторных крысах установлено, что данное соединение приводит к усилению АДФ- и коллагениндуцированной агрегации тромбоцитов, снижая время кровотечения на модели паренхиматозного кровотечения до 63,7 с относительно контроля, где данный показатель составил 97,9 с²².

Таурин проявляет тропность к основным звеньям патогенеза сердечно-сосудистых заболеваний, и, следовательно, обосновано его включение в состав комплексной терапии при следующих видах кардиопатологии: остром инфаркте миокарда, а именно в ранней реперфузионной фазе, при хронической сердечно-сосудистой недостаточности — как митохондриально направленный антиоксидант, при атеросклерозе — как средство, корректирующее липидный спектр крови, при диабетической кардиомиопатии и гипертонической болезни с подтвержденным окислительным стрессом как физиологически активный субстрат с антистрессорным эффектом²³. Таурат кальция — один из перспективных биологически активных субстратов, который, с одной стороны, значительно улучшает качественные характеристики хлебобулочных изделий, с другой — реализует *in vivo* широкий спектр физиологических эффектов, оказывающих корректирующее действие на патофизиологические сдвиги в организме, в том числе при кардиопатологии.

Список литературы

1. Багаутдинов А.М., Байматов Н.В., Муллагулова Г.М. и др. Радиозащитные свойства низкомолекулярных биологически активных метаболитов экстракта люцерны посевной в профилактике радиационно-индуцированных повреждений печени // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2024. № 2 (70). С. 34—41.

²² Патент № 2640131 С1, Российская Федерация, МПК А61К 31/185, А61Р 7/04. Средство, проявляющее системный гемостатический эффект: № 2017116283: заявл. 10.05.2017; опубл. 26.12.2017 / П.П. Пурыгин, В.А. Ермохин, А.С. Гильмутдинова и др.

²³ Джонг Чжан Джу, Сандап П., Шаффер С.В. Роль таурина в «здоровье» митохондрий: больше, чем просто антиоксидант. С. 115–128; Соловьев В.А., Краснов Я.П., Волкова О.В., Колгина Н.Ю. Изменение липидного спектра крови под влиянием таурина // Тверской медицинский журнал. 2017. № 3. С. 43–45; Хныченко Л.К., Сапронов Н.С. Фармакологическая активность аминокислоты таурина // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. 2004. Т. 3. № 4. С. 15–19; Ямори Т., Тагучи Т., Хамада А. и др. Таурин в норме и патологии: результаты экспериментальных и эпидемиологических исследований // Российский кардиологический журнал. 2010. Т. 15. № 6. С. 64–75.

2. Березов Т.Т., Коровкин Б.Ф. Биологическая химия: Учебник для студентов медицинских вузов. 3-е изд., стереотип. М.: «Медицина», 2008. 704 с.

3. Джонг Чиан Джу, Сандап П., Шаффер С.В. Роль таурина в «здоровье» митохондрий: больше, чем просто антиоксидант // Эндокринология: Новости. Мнения. Обучение. 2021. № 4 (37). С. 115—128.

4. Мамцев А.Н., Козлов В.Н., Пономарев Е.Е., Шиянова Н.И. Влияние комплекса «йод—хитозан» на процессы свободнорадикального перекисного окисления липидов *in vitro* // Известия Уфимского научного центра РАН. 2016. № 3-1. С. 140—142.

5. Огай М.А., Степанова Э.Ф., Холодов Д.Б., Николаевский В.А. Антиоксидантный и мембраностабилизирующий эффект таурина // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2011. № 1. С. 186—191.

6. Патент № 2640131 С1, Российская Федерация, МПК А61К 31/185, А61Р 7/04. Средство, проявляющее системный гемостатический эффект: № 2017116283: заявл. 10.05.2017; опубл. 26.12.2017 / П.П. Пурьгин, В.А. Ермохин, А.С. Гильмутдинова и др.

7. Патент № 2767994 С1, Российская Федерация, МПК А21D 2/08. Способ производства хлебобулочных изделий, обогащенных кальцием: заявл. 04.05.2021; опубл. 22.03.2022 / П.П. Пурьгин, В.А. Ермохин, А.В. Самородов и др.

8. Покровская Е.М., Гордеев И.Г., Волов Н.А., Кокорин В.А. Таурин в клинике внутренних болезней // Российский кардиологический журнал. 2011. № 1. С. 56—60.

9. Покровский В.М., Коротько Г.Ф. Физиология человека: Учебник. М.: «Медицина», 2013. 664 с.

10. Соловьев В.А., Краснов Я.П., Волкова О.В., Колгина Н.Ю. Изменение липидного спектра крови под влиянием таурина // Тверской медицинский журнал. 2017. № 3. С. 43—45.

11. Хныченко Л.К., Сапронов Н.С. Фармакологическая активность аминокислоты таурина // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. 2004. Т. 3. № 4. С. 15—19.

12. Ямори Т., Тагучи Т., Хамада А. и др. Таурин в норме и патологии: результаты экспериментальных и эпидемиологических исследований // Российский кардиологический журнал. 2010. Т. 15. № 6. С. 64—75.

Сведения об авторах

Кузнецова Елена Валентиновна, кандидат биологических наук, доцент, МГУТУ им. К.Г. Разумовского. E-mail: ekuznetsova@mfmngutu.ru

Максютов Руслан Ринатович, кандидат технических наук, МГУТУ им. К.Г. Разумовского. E-mail: ruslan.maxiutov@yandex.ru

Ларионова Светлана Евгеньевна, старший преподаватель, МГУТУ им. К.Г. Разумовского. E-mail: lse73@mail.ru

Матайтис Алия Рафкатовна, ассистент, МГУТУ им. К.Г. Разумовского. E-mail: amataytis@mfmngutu.ru

Денисов Иван Александрович, студент 4-го курса, кафедра «Информационные технологии и системы управления», МГУТУ им. К.Г. Разумовского. E-mail: idenisov@mfmngutu.ru

Information about the authors

Kuznetsova Elena Valentinovna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, K.G. Razumovsky MSUTM. E-mail: ekuznetsova@mfmngutu.ru

Maksyutov Ruslan Rinatovich, Candidate of Technical Sciences, K.G. Razumovsky MSUTM. E-mail: ruslan.maxiutov@yandex.ru

Larionova Svetlana Evgenyevna, Senior Lecturer, K.G. Razumovsky MSUTM. E-mail: lse73@mail.ru

Mataytis Aliya Rafkatovna, Assistant, K.G. Razumovsky MSUTM. E-mail: amataytis@mfmngutu.ru

Denisov Ivan Aleksandrovich, 4th year student, Department of Information Technology and Management Systems, K.G. Razumovsky MSUTM. E-mail: idenisov@mfmngutu.ru

Статья поступила в редакцию 13.05.2025; одобрена после рецензирования 16.06.2025; принята к публикации 26.08.2025.