

УДК 615.011

<https://doi.org/10.52420/umj.25.2.7><https://elibrary.ru/CFPDZI>

## Содержание и свойства соединений магния в некоторых биологически активных добавках

Инесса Николаевна Куприянова, Надежда Анатольевна Белоконова, Ольга Михайловна Медведева <sup>✉</sup>, Ольга Александровна Мельникова, Елена Игоревна Тихомирова, Ирина Геннадьевна Касаткина

Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

<sup>✉</sup> olgapeter48@gmail.com

### Аннотация

**Введение.** Актуальной проблемой здравоохранения является дефицит магния. Для его профилактики рекомендовано применение биологически активных добавок (БАД), содержащих комплексные соединения магния.

**Цель** — изучить химический состав БАД, оценить содержание магния с учетом растворимости при разных значениях водородного показателя (рН) и липофильность соединений магния для прогнозирования их биодоступности.

**Материалы и методы.** Исследовано 5 образцов БАД солей магния. Применены методы потенциометрии и трилонометрии при растворении в воде и разбавленной соляной кислоте; измерено перераспределение соединений магния в органический растворитель (липофильность).

**Результаты.** Исследуемые образцы показали лучшую растворимость магния в кислой среде, чем в воде, что соответствует физиологическим условиям желудочного сока. Содержание магния в одной таблетке или капсуле было меньше указанного на упаковке за исключением образца 5. Изучение липофильных свойств комплексных соединений и солей магния по распределению в бутанол показало, что в кислой среде образуется от 5 % до 58 % биодоступных липофильных соединений. Содержание в составе образца 4 аморфного оксида кремния в качестве антислеживающего агента повышает величину рН водного раствора до 9,9, что имеет практическую целесообразность для назначения этих БАД пациентам с различными рН-зависимыми патологиями.

**Заключение.** Полученные лабораторным путем показатели (растворимость, уровень рН и липофильность) позволяют предсказать потенциальную биодоступность солей магния из БАД при приеме внутрь пациентами.

**Ключевые слова:** дефицит магния, комплексные соединения магния, БАД, липофильность, биодоступность

**Финансирование.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов.

**Соответствие принципам этики.** ЛЭК не требуется, поскольку не использовались данные, материалы, связанные с человеком.

**Для цитирования:** Содержание и свойства соединений магния в некоторых биологически активных добавках / И. Н. Куприянова, Н. А. Белоконова, О. М. Медведева [и др.] // Уральский медицинский журнал. 2026. Т. 25, № 2. С. 7–19. DOI: <https://doi.org/10.52420/umj.25.2.7>. EDN: <https://elibrary.ru/CFPDZI>.

## Content and Properties of Magnesium Compounds in Some Dietary Supplements

Inessa N. Kupriyanova, Nadezhda A. Belokonova, Olga M. Medvedeva ✉,  
Olga A. Melnikova, Elena I. Tikhomirova, Irina G. Kasatkina

Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia

✉ olgapeter48@gmail.com

### Abstract

**Introduction.** Magnesium deficiency is a pressing public health problem. To prevent it, the use of biologically active supplements containing magnesium complexes is recommended.

**Objective** is to study the chemical composition of dietary supplements, evaluate the magnesium content taking into account the solubility at different pH values and the lipophilicity of magnesium compounds to predict their bioavailability.

**Materials and methods.** Five types of magnesium dietary supplements were studied. Bioavailability was assessed by potentiometry and trilometry when dissolved in water and dilute hydrochloric acid, and the lipophilicity was additionally assessed.

**Results.** The samples showed significantly better solubility of magnesium in an acidic environment than in water. The Mg content in one tablet or capsule was less than indicated on the package, with the exception of sample 5. The study of the lipophilic properties of complex compounds and salts of Mg by distribution in butanol showed that from 5 % to 58 % of lipophilic compounds are formed in an acidic environment. The content of amorphous silicon dioxide in sample 4 as an anti-caking agent increases the pH of the aqueous solution to 9.9, which has practical relevance for prescribing these dietary supplements to patients with various pH-dependent pathologies.

**Conclusion.** Laboratory-obtained parameters (solubility, pH level and lipophilicity) allow us to predict the potential bioavailability of magnesium salts from dietary supplements when taken orally by patients.

**Keywords:** magnesium deficiency, magnesium complexes, dietary supplements, BAS, lipophilicity, bioavailability

**Funding.** The authors declare the absence of external funding for the study.

**Conflict of interest.** The authors declare the absence of obvious or potential conflict of interest.

**Conformity with the principles of ethics.** A local ethics committee is not required since no human-related data or materials were used.

**For citation:** Kupriyanova IN, Belokonova NA, Medvedeva OM, Melnikova OA, Tikhomirova EI, Kasatkina IG. Content and properties of magnesium compounds in some dietary supplements. *Ural Medical Journal*. 2026;25(2):7–19. DOI: <https://doi.org/10.52420/umj.25.2.7>. EDN: <https://elibrary.ru/CFPDZI>.

© Куприянова И. Н., Белоконова Н. А., Медведева О. М., Мельникова О. А., Тихомирова Е. И., Касаткина И. Г., 2026

© Kupriyanova I. N., Belokonova N. A., Medvedeva O. M., Melnikova O. A., Tikhomirova E. I., Kasatkina I. G., 2026

### Введение

Для организма человека магний (Mg) является кофактором более 600 ферментативных реакций, часто зависящих от аденозинтрифосфата (АТФ), Mg<sup>2+</sup> участвует во многих ключевых биохимических процессах, таких как митохондриальный синтез АТФ для образования Mg-АТФ и осуществления окислительного фосфорилирования белков, активации циклического аденозинмонофосфата [1]; гликолиз, синтез белков и нуклеиновых кислот [2]; поддержание гомеостаза кальция, калия и натрия [3, 4]; регуляция проницаемости мембран посредством взаимодействия с фосфолипидами, регуляция тонуса сосудов и артериального давления [5, 6]. Таким образом, Mg играет важную роль в физиологической функции мозга, сердца, нервно-мышечной возбудимости, регуляции секреции паратиреоидного гормона [7–9].

Для поддержания баланса Mg в организме физиологическая потребность в нем у взрослых составляет 420 мг в сутки; детей — от 55 до 400 мг в сутки; беременных во II–III триместрах и лактирующих женщин — 450 мг в сутки<sup>1</sup>.

Концентрация Mg в сыворотке крови у здоровых людей поддерживается благодаря динамическому балансу между потреблением Mg, его абсорбцией в кишечнике, выведением почками, запасом в костях и потребностью в Mg различных тканей. Mg в кишечнике абсорбируется через параклеточный пассивный и трансклеточный активный пути, в которых участвуют белки каналов TRPM6/7<sup>2</sup> [10]. Биодоступность Mg варьируется в широких пределах в зависимости от дозы, пищевой матрицы, а также усиливающих и подавляющих факторов. К диетическим факторам, ухудшающим усвоение Mg, относятся высокие дозы других минералов, частично ферментируемые волокна (например, гемицеллюлоза), неферментируемые волокна (например, целлюлоза, лигнин), фитат и оксалат, тогда как белки, среднецепочечные триглицериды и низко- или неусвояемые углеводы (например, резистентный крахмал, олигосахариды, инулин, маннит и лактулоза) усиливают усвоение Mg [11–13].

В России широко распространенной медицинской проблемой является недостаточное потребление и дефицит Mg, что было отражено в 2023 г. в резолюции совета экспертов «Дефицит магния». Факторы, способствующие дефициту Mg, включают в себя несбалансированное питание, снижение содержания Mg в продуктах, хронический стресс, потребление кофеина и алкоголя, физические нагрузки, заболевания желудочно-кишечного тракта, нарушающие всасывание и прием лекарственных препаратов [14]. Члены экспертного совета рекомендовали отдавать предпочтение органическим солям Mg, т. к. они имеют большую биодоступность по сравнению с неорганическими. Соли Mg можно назначать как в виде лекарственных препаратов в терапевтических целях, так и биологически активных добавок (БАД) к пище в профилактических целях.

С 1 сентября 2025 г. в России Федеральный закон «О качестве и безопасности пищевых продуктов» от 2 января г. 2000 № 29-ФЗ регулирует оборот БАД и позволяет медицинским работникам в порядке, установленном Минздравом России по согласованию с Роспотребнадзором, использовать БАД в качестве инструмента для улучшения здоровья пациентов при наличии соответствующих показаний и соблюдении установленных правил<sup>3</sup>.

В систематическом обзоре 2021 г. с включением 14 исследований БАД, содержащих Mg, показано, что все такие пищевые добавки могут поддерживать физиологические уровни Mg у здоровых молодых людей без предшествующего дефицита [15]. Однако актуальной остается проблема выбора препарата для восполнения дефицита Mg и предварительной оценки его биодоступности из различных форм соединений Mg [16–18].

Биодоступность химических веществ можно определить как процесс, включающий в себя следующие стадии: высвобождение ингредиента из органической матрицы в желудочно-кишечном тракте, его переход через кишечную стенку в организм и метаболизм, включая расщепление в кишечнике и печени, завершающийся введением ингредиента в системный кровоток. Биодоступность микроэлементов изучаются как с использованием

<sup>1</sup> Методические рекомендации МР 2.3.1.0253–21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации // Федер. служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. URL: <https://clck.ru/3Shgij> (дата обращения: 13.11.2025).

<sup>2</sup> TRPM — транзитные каналы рецепторного потенциала меластатинового типа (*англ.* transient receptor potential melastatin).

<sup>3</sup> Российская Федерация. Законы. О качестве и безопасности пищевых продуктов : Федер. закон от 2 янв. 2000 г. № 29-ФЗ // КонтурНорматив. URL: <https://clck.ru/3Skkgx> (дата обращения: 25.03.2026).

модели человека или животного путем определения параметров усвояемости *in vivo*, так и *in vitro* путем определения степени ферментативного гидролиза этих продуктов в лабораторных условиях [19].

П. Бавец и др. (*англ.* P. Bawiec et al.) для оценки биодоступности применили двухэтапную модель пищеварения *in vitro* с использованием целлюлозодиализных трубок и метода ICP-OES<sup>1</sup> и исследовали 12 продуктов, официально зарегистрированных в Польше, из которых 9 были зарегистрированы как БАД к пище, а 3 как лекарственные средства. По их данным, биодоступность Mg находилась в диапазоне 48,74–52,51 %, что зависело от пищевого состава диет и химической формы Mg. Так, биодоступность Mg из его неорганических соединений была в среднем на уровне 59,76–68,37 %, его органических форм — 53,86–66,66 % [20].

Л. Бланкар и др. (*англ.* L. Blancquaert et al.) провели тестирование биодоступности 15 добавок Mg *in vitro* с помощью SHIME<sup>2</sup> и с помощью тестов на растворение. Для тестирования *in vivo* на 30 испытуемых были выбраны две формулы Mg с разными прогнозами биодоступности из тестов *in vitro* (лучшая и худшая). Биодоступность *in vivo* сравнивалась после одного острого приема внутрь путем мониторинга концентрации Mg в крови в течение 6 ч. после приема. Тесты *in vitro* показали очень большой разброс в абсорбции и растворении 15 продуктов Mg. В тестировании *in vivo* обнаружен различающийся профиль абсорбции Mg в сыворотке в течение 4 ч. после приема добавки для двух добавок с противоположными результатами тестов *in vitro*. Более того, максимальное увеличение Mg в сыворотке и общая площадь под кривой значительно различались для обеих добавок (+6,2 % против +4,6 % и 6,87 против 0,31 ммоль/мин. соответственно). В совокупности плохая биодоступность *in vitro* и биодоступность в модели SHIME явно транслировались в плохое растворение и плохую биодоступность *in vivo* [21].

По результатам ранее проведенных нами исследований выявлена взаимосвязь между составом исследуемого раствора и коэффициентом перераспределения Mg в органические растворители *in vitro* [22]. Эти данные коррелируют с результатами других авторов по биодоступности Mg из различных лекарственных препаратов, определяемой в физиологических экспериментах с лабораторными животными [23]. Кроме того, коэффициент перераспределения Mg в органические растворители коррелирует с оценкой биодоступности комплексных соединений Mg в экспериментах на изолированных предсердных кардиомиоцитах крысы, проведенных с применением методов лазерной сканирующей (конфокальной) микроскопии [24].

В обзоре А. Г. Петё и др. (*англ.* A. G. Pethő et al.) указывается, что многочисленные исследования подтвердили важность надлежащего поступления Mg в организм и уровня Mg в тканях, но простые и недорогие добавки Mg до сих пор не получили широкого признания и распространения [9].

Нам неизвестно, имеются ли проведенные в России работы по изучению свойств БАД, содержащих Mg. В связи с этим стояла цель изучить свойства соединений Mg в некоторых БАД *in vitro* для прогнозирования биодоступности Mg и подтвердить это в последующих исследованиях *in vivo*.

**Цель исследования** — изучить химический состав БАД, оценить содержание Mg с учетом растворимости при разных значениях pH и липофильность соединений Mg для прогнозирования их потенциальной биодоступности.

<sup>1</sup>ICP-OES — оптико-эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (*англ.* inductively coupled plasma optical emission spectroscopy).

<sup>2</sup>SHIME — «Симулятор микробной экосистемы кишечника человека» (*англ.* Simulator of Human Intestinal Microbial Ecosystem).

## Материалы и методы

Объектами исследования являлись биологически активные добавки Mg, зарегистрированные Роспотребнадзором в Реестре свидетельств о государственной регистрации<sup>1</sup>. Материал для исследования отобран на основе популярности химических соединений Mg среди потребителей в крупнейших аптечных сетях. Торговые названия пищевых добавок заменены цифровыми обозначениями:

- 1) Mg + B<sub>6</sub>, капсулы;
- 2) Mg цитрат, капсулы;
- 3) Mg хелат, капсулы;
- 4) Mg + витамины группы B, таблетки;
- 5) Mg + витамины группы B, шипучие таблетки.

Для каждого БАД проанализированы два образца. Все исследования проводились в трех повторениях.

Изучены уровни водородных показателей (*англ.* pondus Hydrogenii, pH) растворов изучаемых образцов солей Mg в дистиллированной воде и 0,1 М (0,2 М) соляной кислоте (HCl), что соответствует физиологической среде желудочного сока (pH = 1).

pH растворов определялись потенциометрическим методом по стандартной методике. Дистиллированная вода использовалась для оценки исходного состояния БАД. Величина pH определяет концентрацию ионов водорода в водной системе. Так, например, при содержании оксида Mg в составе БАД концентрация ионов водорода будет снижаться. Кроме того, величина pH будет меняться в зависимости от адсорбционных свойств поверхности аморфного диоксида кремния до 10.

Для проведения химических исследований предварительная пробоподготовка образцов осуществлялась по следующей методике: одна таблетка (или капсула) растворялась в 100 мл дистиллированной воды при нагревании до 35–37 °С в течение 15 мин. или в 100 мл 0,1 М (при необходимости 0,2 М) HCl; раствор фильтровался через фильтр «синяя лента».

На следующем этапе проведены определение содержания Mg в полученных растворах методом трилонометрии и сопоставление с информацией о содержании Mg, указанной производителем на упаковке.

Для оценки липофильных свойств комплексных соединений Mg проведены эксперименты по экстракции соединений Mg из водных растворов изучаемых образцов в бутанол [22]. Условия экстракции в бутанол: 10 мл изучаемого раствора смешивались с 5 мл бутанола. Перемешивание производилось в автоматическом шейкере 30 мин. при температуре 25 °С. Концентрация Mg до и после экстракции определялась в водной фазе методом трилонометрии по стандартной методике.

Для оценки липофильных свойств соединений Mg выполнен расчет логарифма коэффициента распределения «бутанол — вода» по аналогии со стандартным критерием липофильности logP для системы «октанол — вода»:

$$\log P = \log_{10} \frac{C_{\text{бутанол}}}{C_{\text{вода}}}$$

Статистическая обработка данных проводилась с помощью пакета Statistica 13.0 (StatSoft Inc., США). Распределения количественных параметров оценивались с помощью

<sup>1</sup>Реестр свидетельств о государственной регистрации (единая форма Таможенного союза, российская часть) / Федер. служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. URL: <https://clck.ru/3ShtND> (дата обращения: 13.11.2025).

критерия Шапиро — Уилка. Для выявления статистически значимых различий между группами исследования применен однофакторный дисперсионный анализ (*англ.* analysis of variance, ANOVA) с последующими апостериорными попарными сравнениями (критерий Шеффе). Различия и корреляции признавались значимыми при уровне  $p < 0,050$ .

### Результаты и обсуждение

Проведен анализ информации, представленной на упаковке и в инструкции по применению изучаемых образцов. Составы изучаемых БАД приведены в табл. 1. Образцы 1–3 отличаются содержанием Mg в капсулах, что указано на упаковке. Образец 1 (Mg + B<sub>6</sub>) состоит из смеси органической соли бисглицината Mg и неорганического оксида Mg, также он содержит витамин B<sub>6</sub> в дозе 6 мг; образец 2 (Mg цитрат) представляет собой органическую соль цитрат Mg; образец 3 (Mg хелат) — органическую соль глицинат Mg. Образцы 2 и 3 не содержат витамины. В таблетках образцов 4 и 5 содержится по 400 мг Mg (по заявлению производителя), при этом действующее вещество образца 4 представляет собой оксид Mg, а образца 5 — смесь неорганического карбоната Mg и органического цитрата Mg. Образцы различаются по дозе витамина B<sub>6</sub> (5 мг и 4,2 мг соответственно), а также наличию вспомогательных веществ.

Таблица 1

Состав БАД согласно информации на упаковке

Образец	Действующее вещество	Содержание Mg в 1 таблетке, мг	Другие компоненты					Вспомогательные вещества
			Витамин B <sub>6</sub> , мг	Витамин B <sub>1</sub> , мг	Витамин B <sub>2</sub> , мг	Фолиевая кислота, мг	Витамин B <sub>12</sub> , мкг	
1	Mg глицинат, Mg оксид	193	6,0	—	—	—	—	Желатин (оболочка капсулы)
2	Mg цитрат	150	—	—	—	—	—	Желатин (оболочка капсулы)
3	Mg глицинат	200	—	—	—	—	—	Желатин, диоксид кремния
4	Mg оксид	400	5,0	4,2	—	0,6	5	Целлюлоза микрокристаллическая, гидроксипропилметилцеллюлоза, соли Mg стеариновой кислоты, кроскармеллоза, тальк, диоксид кремния аморфный, жирные кислоты, оксиды и гидроксиды железа
5	Mg карбонат, Mg цитрат	400	4,2	1,1	0,33	0,6	5	Лимонная кислота, гидрокарбонат натрия, карбонат натрия, натриевая соль цикламной кислоты, ароматизатор (лимон + грейпфрут), крахмал картофельный, сахаринат натрия, рибофлавин-5'-фосфат натрия

Известно, что pH среды оказывает значительное влияние на биологическую доступность солей Mg. Сведения об уровне pH растворов изучаемых образцов солей Mg в дистиллированной воде и растворах HCl приведены в табл. 2.

Таблица 2

## Значения pH растворов БАД Mg при растворении в разных растворителях (M±SD)

Образец	Дистиллированная вода	0,1 М HCl	0,2 М HCl
1	6,18±0,06	1,59±0,02	—
2	6,18±0,05	1,68±0,02	—
3	9,71±0,07	2,82±0,04	—
4	9,94±0,06	9,05±0,05	8,16±0,10
5	4,93±0,06	4,10±0,07	—
<i>p</i>	<0,001	<0,001	—

Примечания: M — среднее (англ. mean); SD — стандартное отклонение (англ. standard deviation).

Благодаря ANOVA выявлен статистически значимый эффект образца БАД Mg на pH его раствора в дистиллированной воде (расчетное значение критерия Фишера  $F(4, 25) = 8944,9$ , уровень значимости  $p < 0,001$ ). Апостериорный анализ по Шеффе показал, что все исследуемые образцы значимо различаются по уровню pH за исключением образцов 1 и 2, между которыми различий не обнаружено.

Высокое значение pH для образцов 3 и 4 (9,71 и 9,94 соответственно) можно объяснить присутствием в их составе аморфного диоксида кремния, добавляемого в качестве антислеживающего агента. Свойства поверхности аморфного диоксида кремния зависят от метода его получения, наличия примесей [25, 26] и оцениваются по изменению величины pH водных растворов [27]. Значение pH для образца 5 составило 4,93, что можно объяснить присутствием в составе лимонной кислоты.

Растворение образцов БАД в 0,1 М HCl привело к статистически значимому дифференцированному изменению pH среды, что подтверждает расчетное значение критерия Фишера  $F(4, 25) = 20588$ ,  $p < 0,001$ . Наибольший вклад в межгрупповую дисперсию наблюдался именно в среде 0,1 М HCl, что свидетельствует о выраженном различии кислотно-основных свойств образцов БАД.

После растворения в 0,1 М HCl величина pH образца 4 не снизилась (9,05), и даже использование 0,2 М HCl не позволило снизить pH меньше 8. Это объясняется большим количеством диоксида кремния в составе БАД. В других образцах при аналогичном растворении в HCl величина pH составила от 1,58 до 4,10.

Содержание Mg в полученных растворах, определенное методом трилонометрии, и сопоставление с информацией о содержании Mg, указанной производителями на упаковке, приведено в табл. 3.

Таблица 3

## Содержание Mg в исследуемых образцах, указанное производителем и определенное трилонометрически

Образец	Содержание Mg по заявлению производителя в пересчете на 1 таблетку (капсулу), мг	Расчетная концентрация Mg в растворах, при растворении согласно инструкции, мг/л	Концентрация Mg в растворах, определенная трилонометрически, мг/л (M±SD)	
			в дистиллированной воде	в 0,1 М HCl
1	193	1930	291±2	667±9
2	150	1500	516±4	806±11
3	200	2000	734±5	1032±18

Окончание табл. 3

Образец	Содержание Mg по заявлению производителя в пересчете на 1 таблетку (капсулу), мг	Расчетная концентрация Mg в растворах, при растворении согласно инструкции, мг/л	Концентрация Mg в растворах, определенная трилонометрически, мг/л (M±SD)	
			в дистиллированной воде	в 0,1 М HCl
4	400	4000	168±2	1 680±19
5	400	4000	4 296±28	4 440±34
<i>p</i>	—	—	<0,001	<0,001

На основе ANOVA выявлено статистически значимое влияние состава БАД на концентрацию Mg в водном растворе (расчетное значение критерия Фишера  $F(4, 25) = 103\,000$ ,  $p < 0,001$ ). Апостериорный анализ по Шеффе подтвердил, что все пять исследуемых образцов статистически значимо ( $p < 0,001$ ) различаются между собой. Наибольшую концентрацию в растворе обеспечил образец 5 (4296 мг/л), наименьшую — образец 4 (168 мг/л).

Растворение БАД Mg в 0,1 М HCl приводит к статистически значимому дифференцированному изменению концентрации ионов  $Mg^{2+}$  в растворе (расчетное значение критерия Фишера  $F(4, 25) = 31\,093$ ,  $p < 0,001$ ). Апостериорный анализ по Шеффе подтвердил, что все пять исследуемых образцов различаются между собой по растворимости в кислой среде ( $p < 0,050$ ). Полученные данные позволяют провести четкое ранжирование БАД по их способности растворяться в условиях, моделирующих желудочный сок.

Из анализа данных, представленных в табл. 3, следует следующее:

- 1) все образцы демонстрируют лучшую растворимость Mg в кислой среде (раствор 0,1 М HCl), чем в воде: в образцах 1 и 4 соединение Mg присутствует в виде оксида, который лучше растворим в кислоте; нерастворимый карбонат Mg из образца 5 переходит в растворимый гидрокарбонат при растворении в HCl; цитрат и глицинат Mg образуют комплексные соли, растворимые в воде и кислоте;
- 2) содержание Mg в одной таблетке или капсуле, определенное экспериментально, меньше, указанного на упаковке, за исключением растворов образца 5;
- 3) низкую растворимость образца 4, по сравнению с теоретически рассчитанным значением, можно объяснить высоким значением pH после взаимодействия БАД с 0,1 М HCl.

Важно отметить, что фармацевтический стандарт 1 предусматривает определение Mg в конкретных соединениях при других условиях растворения.

Заслуживают внимания результаты польского исследования 116 БАД, содержащих Mg, методом атомно-абсорбционной спектрометрии — показано, что в 58,7 % образцов содержание Mg отличалось от допустимых пределов, установленных Главным санитарным инспектором Польши, которые находятся в диапазоне от -20 % до +45 %. Подсчитано, что из-за различий в составе пациент может принимать до 304 % больше Mg в день или на 98 % меньше, чем указано в инструкции. По результатам этой работы сделан вывод о необходимости более тщательного контроля качества и безопасности БАД [28].

Важно подчеркнуть, что не все соединения Mg, присутствующие в БАД, могут раствориться в кислой среде, но именно в кислой среде желудка, в диапазоне физиологических показателей желудочного сока от 1 до 3, создаются условия для формирования биорелевантных комплексов Mg, устойчивых не только в среде с pH 1–3, но и при значении pH 7–8.

<sup>1</sup>Магния оксид : фармакопей. ст. ФС. 2.2.0029 : утв. и введена в действие приказом Минздрава России от 20 июля 2023 г. № 377 // Институт фармакопей и стандартизации в сфере обращения лекарственных средств. URL: <https://clck.ru/3SkmPB> (дата обращения: 25.03.2026).

Образцы 1 и 4 содержали в своем составе труднорастворимый оксид Mg. Теоретический расчет по уравнению реакции нейтрализации оксида Mg HCl и дополнительный эксперимент подтверждают, что в 100 мл 0,1 М HCl может раствориться не более 200 мг оксида Mg. Из образца 4 растворилось 168 мг из 400 мг Mg, заявленных производителем в составе 1 капсулы БАД (табл. 3).

В образце 1, представляющем собой смесь оксида и глицината Mg, после растворения в 0,1 М HCl определялось только 30 % Mg относительно указанного на упаковке: в капсуле содержится 193 мг, а растворилось 66,7 мг. Производитель образца 1 не указал соотношение оксида Mg и глицината Mg. В образце 3, который, согласно данным на упаковке, содержит глицинат Mg в количестве 200 мг, Mg, согласно результатам трилометрического определения, растворился только на 50 %.

Mg из образца 2 перешел в растворимую форму при растворении в воде на 34 %, в 0,1 М HCl — на 53 %.

Таким образом, содержание в одной таблетке (или капсуле) БАД Mg в виде оксида в количестве более 100 мг теоретически не оправдано — БАД не будет растворяться в желудочно-кишечном тракте и переходить в доступную для усвоения форму. Это не подтверждает результаты исследований, в которых применение оксида Mg внутрь в течение 10 дней продемонстрировало превосходную биодоступность по сравнению с цитратом или карбонатом Mg [29].

В состав образцов 1, 4 и 5 входит витамин B<sub>6</sub>. В ряде исследований показано, что витамин B<sub>6</sub> ускоряет проникновение Mg внутрь клетки и необходим для его внутриклеточной кумуляции [24, 30].

После растворения БАД в 0,1 М HCl проведена оценка способности изучаемых соединений Mg экстрагироваться бутанолом. Результаты лабораторного эксперимента показали, что экстрагируется только от 5 % до 58 % соединений Mg. Выполнен пересчет на абсолютное количество Mg, перешедшее из одной таблетки (капсулы) в бутанол. Поскольку содержание Mg в таблетке (капсуле) разное, то, как следствие, оно различается в приготовленных растворах. В абсолютном содержании переходить в бутанол будет всего лишь от 4 до 71 мг из 1 таблетки или капсулы. Результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4

Изменение содержания Mg в растворах образцов до и после экстракции бутанолом, logP

Образец	% снижения содержания Mg в растворе	Масса Mg, перешедшая в бутанол из 1 таблетки, мг	logP
1	58±4	39±3	0,44±0,04
2	5,0±0,5	4,0±0,5	-0,98±0,02
3	42±3	43±2	0,16±0,03
4	39±3	65±2	0,11±0,01
5	16±2	71±3	-0,42±0,02
<i>p</i>	<0,001	<0,001	<0,001

С помощью ANOVA выявлено статистически значимое влияние образца БАД на logP в системе «бутанол — вода» (расчетное значение критерия Фишера  $F(4, 25) = 942$ ,  $p < 0,001$ ). Апостериорный анализ по Шеффе подтвердил, что все пять исследуемых образцов статистически значимо ( $p < 0,001$ ) различаются между собой.

В органический растворитель Mg переходит в виде липофильных комплексных соединений, что ранее показано нами [22, 23].

Для оценки липофильных свойств комплексных соединений используется  $\log P$  в системе «органический растворитель — вода».  $\log P$  вещества между двумя несмешивающимися фазами характеризует способность соединения растворяться в липидах (жироподобных веществах) относительно воды. Положительные значения  $\log P$  указывают на высокую липофильность (способность накапливаться в жировых тканях), отрицательные значения  $\log P < 0$  свидетельствуют о гидрофильных свойствах (лучше растворяется в воде). Известно, что липофильные соединения легче проникают через клеточные мембраны благодаря своей способности взаимодействовать с липидами мембран клеток. Однако большинство солей Mg является гидрофильными веществами, и их биодоступность ограничена способностью преодолевать липидный слой клетки.

Данные нашего исследования показали, что образцы 2 и 5, содержащие цитрат Mg скорее гидрофильны, чем липофильны, их  $\log P$  отрицательны. Цитрат-ион практически не содержит длинных углеродных цепочек и характеризуется наличием трех отрицательно заряженных карбоксильных групп, что препятствует эффективному взаимодействию с липидной средой. Известно, что цитрат Mg имел самую низкую биодоступность при его изучении по проникновению в ткани головного мозга после однократного введения крысам Mg в дозе 400 мг/70 кг [31]. Таким образом, наблюдается прямая взаимосвязь липофильности с биодоступностью, что теоретически обосновывает возможность использовать эксперименты по экстракции в органический растворитель (например, бутанол) для прогнозирования потенциальной биодоступности.

Образец 5 продемонстрировал лучшую липофильность по сравнению с образцом 2, поскольку он содержит в своем составе витамин B<sub>6</sub>. Ранее нами показано, что при добавлении витамина B<sub>6</sub> к препаратам Mg увеличиваются перераспределение Mg в органические растворители и его потенциальная биодоступность [22].

Роль витамина B<sub>6</sub> в образовании липофильных комплексов Mg подтверждает сравнение липофильных свойств соединений Mg из образцов 1 и 3. Образец 1 представляет собой смесь (в неизвестной пропорции) глицината Mg, оксида Mg и витамина B<sub>6</sub>. Образец 3 — это только глицинат Mg. При этом  $\log P$  для образца 1 выше, чем для образца 3.

Образец 4 обладает низкой липофильностью. Оксид Mg при pH = 9 может образовывать растворимые комплексные соединения с витаминами группы B, которые способны растворяться в липидах.

Таким образом, анализ полученных лабораторным путем результатов, включающих в себя оценку растворимости в дистиллированной воде, изменение pH в 0,1 М HCl и расчет липофильности позволяет прогнозировать свойства БАД и его потенциальную биодоступность.

## Выводы

1. Все исследованные образцы продемонстрировали лучшую растворимость Mg в кислой среде (раствор 0,1 М HCl), чем в воде, что соответствует физиологическим условиям желудочного сока.
2. При растворении в 0,1 М HCl образуется от 5 % до 58 % липофильных комплексов Mg, которые могут проникать через клеточную мембрану и распределяться в организме.
3. Получение информации о pH водной системы, содержащей БАД, имеет практическую целесообразность для их назначения пациентам с различными pH-зависимыми патологиями желудочно-кишечного тракта.

4. Содержание Mg в одной таблетке или капсуле, определенное трилометрически в исследуемых образцах, было меньше указанного на упаковке, кроме образца 5, представляющего собой шипучую таблетку.
5. Коэффициент липофильности, определенный экспериментально по системе «бутанол — вода», показал, что витамины группы В повышают липофильность.

## Список источников | References

1. Barbagallo M, Dominguez LJ. Magnesium metabolism in type 2 diabetes mellitus, metabolic syndrome and insulin resistance. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 2007;458(1):40–47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.abb.2006.05.007>.
2. Saris NE, Mervaala E, Karppanen H, Khawaja JA, Lewenstam A. Magnesium: An update on physiological, clinical and analytical aspects. *Clinica Chimica Acta*. 2000;294(1–2):1–26. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0009-8981\(99\)00258-2](https://doi.org/10.1016/S0009-8981(99)00258-2).
3. Rosanoff A, Dai Q, Shapses SA. Essential nutrient interactions: Does low or suboptimal magnesium status interact with vitamin D and/or calcium status? *Advances in Nutrition*. 2016;7(1):25–43. DOI: <https://doi.org/10.3945/an.115.008631>.
4. Dai Q, Zhu X, Manson JE, Song Y, Li X, Franke AA, et al. Magnesium status and supplementation influence vitamin D status and metabolism: Results from a randomized trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2018;108(6):1249–1258. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqy274>.
5. Newhouse IJ, Finstad EW. The effects of magnesium supplementation on exercise performance. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2000;10(3):195–200. DOI: <https://doi.org/10.1097/00042752-200007000-00008>.
6. Topf JM, Murray PT. Hypomagnesemia and hypermagnesemia. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*. 2003;4(2):195–206. DOI: <https://doi.org/10.1023/a:1022950321817>.
7. Barbagallo M, Reddy ST, Soman SS, Yee J. Magnesium balance and measurement. *Advances in Chronic Kidney Disease*. 2018;25(3):224–229. DOI: <https://doi.org/10.1053/j.ackd.2018.03.002>.
8. De Baaij JHF, Hoenderop JGJ, Bindels RJM. Magnesium in man: Implications for health and disease. *Physiological Reviews*. 2015;95(1):1–46. DOI: <https://doi.org/10.1152/physrev.00012.2014>.
9. Pethő ÁG, Fülöp T, Orosz P, Tapolyai M. Magnesium is a vital ion in the body — it is time to consider its supplementation on a routine basis. *Clinics and Practice*. 2024;14(2):521–535. DOI: <https://doi.org/10.3390/clinpract14020040>.
10. Quamme GA. Recent developments in intestinal magnesium absorption. *Current Opinion in Gastroenterology*. 2008;24(2):230–235. DOI: <https://doi.org/10.1097/MOG.0b013e3282f37b59>.
11. Schuchardt JP, Hahn A. Intestinal absorption and factors influencing bioavailability of magnesium — an update. *Current Nutrition & Food Science*. 2017;13(4):260–278. DOI: <https://doi.org/10.2174/1573401313666170427162740>.
12. Gromova OA, Torshin IYu, Kodentsova VM. Food products: Content and absorption of magnesium. *Therapy*. 2016;(5):87–96. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/XCFZUJ>.
13. Vormann J. Magnesium: Nutrition and metabolism. *Molecular Aspects of Medicine*. 2003;24(1–3):27–37. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0098-2997\(02\)00089-4](https://doi.org/10.1016/s0098-2997(02)00089-4).
14. Martynov AI, Baranov II, Orlova SV, Akarachkova ES, Gromova OA, Malyavin AG, et al. Resolution of the expert council “Magnesium Deficiency”. *Therapy*. 2024;10(1):149–158. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18565/therapy.2024.1.149-158>.
15. Pardo MR, Garicano VE, San Mauro Martín I, Camina Martín MA. Bioavailability of magnesium food supplements: A systematic review. *Nutrition*. 2021;89:111294. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2021.111294>.
16. Tereshchenko IV. Magnesium deficiency in an endocrinologist’s practice. *Clinical Medicine (Russian Journal)*. 2008;86(7):47–51 (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/TKTWDB>.
17. Gromova OA, Torshin IYu, Kobalava ZhD, Sorokina MA, Villevalde SV, Galochkin SA, et al. Deficit of magnesium and states of hypercoagulation: Intellectual analysis of data obtained from a sample of patients aged 18–50 years from medical and preventive facilities in Russia. *Kardiologiia*. 2018;58(4):22–35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18087/cardio.2018.4.10106>.
18. Nizovtseva OA. Complex therapy of cardiovascular diseases and magnesium deficiency. *Difficult Patient*. 2014;12(7):37–41. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/TFSIVX>.
19. Marze S. Bioavailability of nutrients and micronutrients: Advances in modeling and in vitro approaches. *Annual Review of Food Science and Technology*. 2017;8:35–55. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030216-030055>.
20. Bawiec P, Jaworowska A, Sawicki J, Czop M, Szalak R, Koch W. In vitro evaluation of bioavailability of mg from daily food rations, dietary supplements and medicinal products from the Polish market. *Nutrients*. 2025;17(5):748. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu17050748>.

21. Blancquaert L, Vervaet C, Derave W. Predicting and testing bioavailability of magnesium supplements. *Nutrients*. 2019;11(7):1663. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu11071663>.
22. Belokonova NA, Medvedeva OM, Bozhko YaG, Arkhipov MV. Physicochemical properties of magnesium-containing drugs. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. 2024;(1):5–13. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/CLKOHI>.
23. Bozhko YaG, Belokonova NA, Medvedeva OM, Butova KA, Arkhipov MV. Replenishment of intracellular magnesium deficiency in cardiac arrhythmia: Focus on the physicochemical properties of complex compounds. *Rational Pharmacotherapy in Cardiology*. 2025;21(2):155–165. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.20996/1819-6446-2025-3149>.
24. Iezhitsa IN, Kravchenko MS, Kharitonova MV, Spasov AA, Ozerov AA. Comparative bioavailability of some organic magnesium salts and magnesium-containing preparations under conditions of alimentary hypomagnesemia. *Journal of Volgograd State Medical University*. 2007;(4):40–43. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/KFQWLP>.
25. Antoshkina EG, Smolko VA. Determination of acid-base centers on the surface of quartz sand grains from some Russian deposits. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematics, Physics, Chemistry*. 2008;(7):65–68. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/IYDCRP>.
26. Arefieva OD, Pirogovskaya PD, Panasenko AE, Kovekhova AV, Zemnukhova LA. Acid-base properties of amorphous silicon dioxide from rice straw and husk. *Chemistry of Plant Raw Materials*. 2021;(1):327–335. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021017521>.
27. Ikonnikova KV, Ikonnikova LF, Minakova TS, Sarkisov YuS. *Theory and practice of pH-metric determination of acid-base properties of solid surfaces: A tutorial*. Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publishing House; 2011. 85 p. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/TITKEJ>.
28. Puścion-Jakubik A, Bartosiewicz N, Socha K. Is the magnesium content in food supplements consistent with the manufacturers' declarations? *Nutrients*. 2021;13(10):3416. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13103416>.
29. Ivanovic ND, Radosavljevic B, Zekovic M, Korcok D, Ignjatovic S, Djordjevic B, et al. Effects of short-term magnesium supplementation on ionized, total magnesium and other relevant electrolytes levels. *BioMetals*. 2022;35(2):267–283. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10534-022-00363-y>.
30. Abraham GE, Schwartz UD, Lubran MM. Effect of vitamin B-6 on plasma and red blood cell magnesium levels in premenopausal women. *Annals of Clinical & Laboratory Science*. 1981;11(4):333–336. PMID: <https://pubmed.gov/7271227>.
31. Uysal N, Kizildag S, Yuce Z, Guvendi G, Kandis S, Koc B, et al. Timeline (bioavailability) of magnesium compounds in hours: Which magnesium compound works best? *Biological Trace Element Research*. 2019;187(1):128–136. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1351-9>.

### Информация об авторах

**Инесса Николаевна Куприянова** — кандидат медицинских наук, доцент кафедры факультетской терапии, аллергологии и иммунологии, институт клинической медицины, Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия.

E-mail: [237380@mail.ru](mailto:237380@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9464-6560>

**Надежда Анатольевна Белоконова** — доктор технических наук, кандидат химических наук, профессор, заведующий кафедрой общей химии, институт клинической фармакологии и фармации, Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия.

E-mail: [89221503087@mail.ru](mailto:89221503087@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0198-3016>

**Ольга Михайловна Медведева** ✉ — кандидат химических наук, доцент кафедры общей химии, институт клинической фармакологии и фармации, Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия.

E-mail: [olgapeter48@gmail.com](mailto:olgapeter48@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8271-7253>

**Ольга Александровна Мельникова** — доктор фармацевтических наук, профессор, профессор кафедры фармации, институт клинической фармакологии и фармации, Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия.

E-mail: newfarmacia@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1317-3109>

**Елена Игоревна Тихомирова** — кандидат химических наук, доцент кафедры общей химии, институт клинической фармакологии и фармации, Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия.

E-mail: helen\_2504@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1363-5262>

**Ирина Геннадьевна Касаткина** — ассистент кафедры общей химии, институт клинической фармакологии и фармации, Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия.

E-mail: irina\_kasatkina\_79@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4164-2934>

### Information about the authors

**Inessa N. Kupriyanova** — Candidate of Sciences (Medicine), Associate Professor of the Department of Faculty Therapy, Allergology, and Immunology, Institute of Clinical Medicine, Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia.

E-mail: 237380@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9464-6560>

**Nadezhda A. Belokonova** — Doctor of Sciences (Engineering), Candidate of Sciences (Chemistry), Professor, Head of the Department of General Chemistry, Institute of Clinical Pharmacology and Pharmacy, Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia.

E-mail: 89221503087@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0198-3016>

**Olga M. Medvedeva** ✉ — Candidate of Sciences (Chemistry), Associate Professor of the Department of General Chemistry, Institute of Clinical Pharmacology and Pharmacy, Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia.

E-mail: olgapeter48@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8271-7253>

**Olga A. Melnikova** — Doctor of Sciences (Pharmaceutics), Professor, Professor of the Department of Pharmacy, Institute of Clinical Pharmacology and Pharmacy, Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia.

E-mail: newfarmacia@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1317-3109>

**Elena I. Tikhomirova** — Candidate of Sciences (Chemistry), Associate Professor of the Department of General Chemistry, Institute of Clinical Pharmacology and Pharmacy, Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia.

E-mail: helen\_2504@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1363-5262>

**Irina G. Kasatkina** — Assistant of the Department of General Chemistry, Institute of Clinical Pharmacology and Pharmacy, Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia.

E-mail: irina\_kasatkina\_79@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4164-2934>

Рукопись получена: 22 октября 2025. Одобрена после рецензирования: 19 февраля 2026. Принята к публикации: 23 марта 2026.

Received: 22 October 2025. Revised: 19 February 2026. Accepted: 23 March 2026.