



DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2018.3.1>

UDC 546-3:661.846'022

LBC 24.122

MAGNESIUM OXIDE: PROPERTIES, METHODS OF PREPARATION AND APPLICATION (ANALYTICAL REVIEW)

Ivan M. Osadchenko

Volga Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products,
Volgograd, Russian Federation

Mikhail P. Lyabin

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Anastasia D. Romanovskova

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Abstract. The article deals with magnesium oxide, this nutrient is widely used for the treatment and prevention of nervous and cardiovascular diseases, has an antidepressant effect of its application and further study of the properties is relevant to the applied aspects of chemical and medical Sciences. Magnesium is one of the main minerals necessary for the normal functioning of the heart, nervous system, muscles, it largely depends on the strength of bones and normal cell activity. With a balanced diet, a person usually gets enough magnesium with food. If the diet is poor in fresh vegetables, herbs, fruits, there are bad habits, then over time may develop a deficiency of this substance. In this case, magnesium oxide is prescribed by a doctor as a drug for oral administration. The main field of application of magnesium oxide is the production of refractory materials, 65 % of all magnesia is used in the production of steel, 15 % – in the cement industry, 7 % – in the production of refractories, 13 % – in other areas. For the purpose of selection of data in sources of information on properties, ways of receiving and application of the representative of mineral food – magnesium oxide the analysis of domestic and foreign literature is carried out. The analytical selection of data of some sources of information on its properties, ways of obtaining and application is presented, special attention is paid to the use of this compound in medicine. The data obtained allow the use of this chemical composition in each field of application has its own requirements for the quality of magnesium oxide.

Key words: magnesium oxide, food additive, bischofite, mother solution, industries, medicine, feed, decarbonization.

УДК 546-3:661.846'022
ББК 24.122

**ОКСИД МАГНИЯ:
СВОЙСТВА, МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ
(АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)**

Иван Михайлович Осадченко

Поволжский НИИ производства и переработки мясо-молочной продукции,
г. Волгоград, Российская Федерация

Михаил Павлович Лябин

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Анастасия Дмитриевна Романовская

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматривается – оксид магния, данный нутриент широко используется для лечения и профилактики нервных и сердечно-сосудистых заболеваний, обладает антидепрессивным действием его применение и дальнейшее изучение свойств является актуальным для прикладных аспектов химических и медицинских наук. Магний является одним из основных минералов, необходимых для нормальной работы сердца, нервной системы, мышц, от него во многом зависит прочность костей и нормальная жизнедеятельность клеток. При сбалансированном питании человек, как правило, получает достаточное количество магния с пищей. Если же рацион беден свежими овощами, зеленью, фруктами, имеют место вредные привычки, то со временем может развиваться дефицит этого вещества. В этом случае оксид магния назначается врачом, как препарат для приема внутрь. Основной областью применения оксида магния является производство огнеупорных материалов, 65 % всей магнезии используют в производстве стали, 15 % – в цементной промышленности, 7 % – при производстве огнеупоров, 13 % – в других областях. С целью подбора данных в источниках информации по свойствам, путям получения и применения представителя минерального питания – оксида магния проведен анализ отечественной и зарубежной литературы. Представлен аналитический подбор данных некоторых источников информации по его свойствам, путям получения и применения, особое внимание уделено использованию данного соединения в медицине. Полученные сведения позволяют использовать данный химический состав в каждой сфере применения предъявляющей свои требования к качеству оксида магния.

Ключевые слова: оксид магния, пищевая добавка, бишофит, маточный раствор, отрасли промышленности, медицина, корма, декарбонизация.

Магний является необходимым для человека и животных макроэлементом, так как участвует в целом ряде ферментативных процессов в организме, в биосинтезе белков и аминокислот. Этот нутриент широко используется для лечения и профилактики нервных и сердечно-сосудистых заболеваний, обладает антидепрессивным действием. Поэтому изучение свойств, методов получения магнийсодержащих компонентов и применения их, в том числе оксида магния, является важной и актуальной задачей.

Цель работы – подбор данных в источниках информации по свойствам, путям получения и применения одного из важнейших

представителей минерального питания – оксида магния.

Свойства оксида магния. Оксид магния, MgO – белый порошок, почти не растворимый в воде, хорошо растворим в кислотах; на воздухе постепенно поглощает углекислый газ и влагу [6].

Оксид магния, реактив (ГОСТ 4526-75) квалификации ИДА, чистый содержит 98 и 97 % основного вещества, соответственно содержит в количестве примесей общей серы (SO_4^{2-}) не более 0,005 и 0,05, фосфат (PO_4^{3-}) не более 0,002 и 0,005 % и хлориды не более 0,002 и 0,005 % и др. Препарат хранят в упаковках,

изготовителя в крытых складских помещениях. Срок хранения – 1 год со дня изготовления.

Оксид магния синтетический СТО 00203275-227-2011 – порошок белого цвета, марки А, Б, В, Д, содержит основного вещества не менее 99 %, примеси СаО не более 0,5 % (мсм Д) SiO₂ не более 0,052, а также хлориды, сульфаты – не более 0,2–0,52, диаметр 90 % части, не более 30 %.

Предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны 4мг/м³, класс опасности – умеренно опасное вещество. Исходным сырьем для получения оксида магния служат минералы магнезит (MgCO₃), карналлит (KCl • MgCl₂ • 6H₂O), бишофит (MgCl₂, рас-сол и кристаллогидрат).

Оксид магния, MgO, жженая магнезия, пищевая добавка Е-530. Температура плавления 2825 °С, кипения – 3600 °С, плотность – 3,58 г/см³.

Методы получения. В качестве исходного сырья могут быть использованы различные соединения магния. Известен способ получения оксида магния из хлормagneвиевого раствора (бишофита) путем осаждения гидроксида магния водой в смесь бикарбонатом натрия с последующим отделением осадка фильтрованием, промывкой водой, 1 %-ным раствором едкого натрия, после чего осадок подвергают термообработке. По другому варианту исходный бишофит подвергают очистке от механических примесей, фильтруют с последующим отделением гидроксида магния из раствора, обрабатывают газообразным аммиаком (или аммиачной водой) при рН 10,0–10,5. Осадок отделяют от маточного раствора и доосаждают магнием карбонатом аммония при рН 11,0–11,5 с получением MgO. Осадок обеих стадий и подвергают термообработке при 500 °–700 °С, в течение 1–2 ч. с получением MgO (Пат. RU 2097326, 1994).

По патенту (RU 2295494), 2004 г., хлормagneвиевый раствор с содержанием в нем 100–300 г/л MgCl₂ обрабатывают бикарбонатом аммония или натрия в количестве 0,8–1,0 от массы хлорида магния. Полученную пульпу перемешивают, фильтруют, осадок промывают и прокачивают при температуре 600–850 °С. Хлормagneвиевый раствор получают предварительно из твердых отходов натрий термического производства циркония. Из ма-

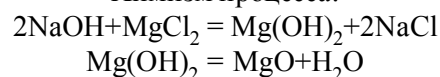
точного выделяют хлорид натрия. Изобретение позволяет снизить себестоимость MgO (плотность не более 0,3 г/см³). Основными видами сырья для производства оксида магния в РФ являются производные минерала: карбонат магния (магнезит), гексагидрат хлорида магния (бишофит MgCl₂•6H₂O) и карналлит (MgCl₂•KCl•6H₂O).

Способ производства оксида магния из магнезита (производной карбоната магния) основан на его обжиге в специальных печах («сухой» способ производства MgO). Данный способ позволяет в зависимости от условий обжига получать три основных товарных вида оксида магния: мертво обожженную магнезию, обожженную каустическую магнезию и плавленную магнезию (периклаз). Товарная магнезия содержит от 55 мас. % до 98 мас. % MgO.

Химические способы, описываются химической реакцией разложения (декарбонизации) карбоната магния: MgCO₃ = MgO+CO₂. Основными примесями оксида магния по этому способу являются: диоксид кремния (SiO₂), оксид кальция (СаО), оксид железа (Fe₂O₃), триоксид алюминия (Al₂O₃).

Вторая технология производства оксида магния базируется на предварительном получении гидроксида магния, его осадка, путем взаимодействия сильной щелочи (NaOH, Са(OH)₂) с раствором бишофита, последующей дегидратации гидроксида магния и обжига его в печах (так называемым «мокрым» способом).

Химизм процесса:



Полученная в этом случае магнезия характеризуется высокой чистотой и отличными потребительскими свойствами, однако содержит примеси хлоридов натрия и магния. Обожженная каустическая магнезия содержит 85–90 % MgO и примеси СаО, SiO₂ 6 % и размер частиц 0,2–2 мм. Обожженную каустическую магнезию производят также как продукт с наименованием «Магнезия жженая техническая», п. ГОСТ 844, в виде продукта одной из трех марок А, Б и В.

Указанные марки магнезии применяются в резинотехнической, химической и других отраслях промышленности.

Применение оксида магния. Основной областью применения оксида магния яв-

ляется производство огнеупорных материалов, 65 % всей магнезии используют в производстве стали, 15 % – в цементной промышленности, 7 % – при производстве огнеупоров, 13 % – в других областях. Таких сред применения насчитывается более 80 (информационно-технический справочник ИТС-21, 2016).

Основными объектами применения обожженной каустической магнезии являются (с учетом тематики нашей статьи) следующие:

- сельскохозяйственное производство, в том числе при получении кормов и в качестве удобрения;

- производство целлюлозы, бумаги, химических и фармацевтических препаратов, огнеустойчивых материалов и композиций;

- охрана окружающей среды;

- химическая, фармацевтическая, пищевая и другие отрасли промышленности.

Некоторые конкретные сферы применения оксида магния:

- пищевая промышленность: пищевая добавка Е-530 – эмульгатор,

- химическая промышленность: в производстве чистых и высокочистых веществ и реактивов;

- охрана окружающей среды: в очистке сточных вод и выбросов газов;

- кожевенная промышленность: в процессе дубления кожи.

В малых объемах используется как:

- добавка для дубления кожи (2007–2015 гг.) 300–397 т/год;

- добавка в гальванике 10 т/год;

- добавка в буровые растворы 160–480 т/год;

- добавки в парфюмерные и медицинские препараты 14–20 т/год;

- химический реактив – 200–270 т/год.

- медицина: использование в качестве компонента лекарственных средств, а также ветеринарных средств (производство препаратов, применяющихся для устранения или профилактики дефицита магния в организме). Кроме того, вещество обладает антацидными свойствами, благодаря чему его нередко включают в состав препаратов для устранения изжоги, для понижения кислотности. Также оксид магния обладает противоязвенным и противовоспалительным свойством, усиливает перистальтику кишечника.

Магний является одним из основных минералов, необходимых для нормальной работы сердца, нервной системы, мышц, от него во многом зависит прочность костей и нормальная жизнедеятельность клеток. При сбалансированном питании человек, как правило, получает достаточное количество магния с пищей. Если же рацион беден свежими овощами, зеленью, фруктами, имеют место вредные привычки, то со временем может развиться дефицит этого вещества. В этом случае оксид магния назначается врачом, как препарат для приема внутрь.

Принимаемый натощак препарат способен вызвать диспепсию или диарею. Следует учитывать, что при приеме других препаратов оксид магния способен усиливать или нейтрализовать их действие, поэтому применять лекарства, содержащие это вещество, без назначения врача категорически не рекомендуется. В частности, оксид магния способен полностью нейтрализовать действие некоторых лекарственных средств для лечения щитовидной железы, антибиотиков, тетрациклинов, бисфосфонатов.

Еще в 1973 г. D.A. Cook опубликовал результаты крупного экспериментального исследования фармакокинетики неорганических соединений магния при пероральном приеме у крыс. Через 5 дней диеты с низким содержанием магния животные получили в течение 14 недель магний в виде магния оксида или хлорида, или карбоната, или гидрокарбоната, или фосфата, или сульфата или силиката, либо остались на обедненной диете. После того, животных забили спектрофотометрическим методом были проанализированы уровни кальция и магния в бедренных костях, почках, моче, плазме, экскрементах, затем была рассчитана абсорбция магния: для карбоната она оказалась 64,9 %; для хлорида – 61 %, для оксида – 58 %, для фосфата – 54,1 %, для сульфата – 53,3 %, для силиката – 54,2 % [1].

В 1990 г. J.S. Lindberg с коллегами провели исследование *in vitro* и *in vivo* для сравнения абсорбции оксида и цитрата магния при приеме внутрь у человека. Сравнивалась растворимость 25 ммоль обоих веществ в 300 мл растворов соляной кислоты разной концентрации и дистиллированной воде. Оксид магния практически не растворим в воде и

лишь на 43 % растворим в наиболее концентрированном растворе кислоты. Цитрат магния в дистиллированной воде имел растворимость 55 % и лучше оксида был растворим в кислотных растворах. При восстановлении pH растворов до 7 титрованием с гидрокарбонатом ни цитрат, ни оксид магния не рекристаллизовывались. Здоровые добровольцы получали перорально 25 ммоль либо цитрата, либо оксида магния. По изменению мочевого экскреции магния судили об уровне абсорбции солей. Увеличение уровня магния в моче было существенно выше в группе добровольцев, получавших цитрат [8].

В 1994 г. S.A. Schuette с группой ученых опубликовал данные исследования кишечной абсорбции оксида магния и хелатного диглицината магния, меченных изотопом ^{26}Mg , у пациентов (12 человек), перенесших резекцию подвздошной кишки. Исследование имело двойной слепой пересекающийся дизайн, доза 100 мг. Оксид и диглицинат магния показали биодоступность в 22,8 и 23,5 % соответственно, однако была отмечена тенденция более высокого поглощения диглицината у 4 пациентов, у которых хуже всего всасывался оксид. Кроме того, пик плазменной концентрации изотопа после приема диглицината наступал раньше на $3,2 \pm 1,3$ ч [13]. A.F. Walker и соавторы (2003) изучали сравнительную фармакокинетику соединений магния (оксид, цитрат и хелатное соединение магния с аминокислотой (amino-acid chelate – AAC) у здоровых добровольцев в двойном слепом рандомизированном плацебо-контролируемом исследовании. Добровольцы без признаков дефицита магния были рандомизированы на 5 групп: получающих оксид магния по 300 мг/сут; цитрат магния – по 300 мг/сут; Mg AAC, а также 2 группы плацебо: в одной принимали целлюлозу, в другой – сорбитол. Препараты принимали 60 сут, обследовали пациентов после первых суток приема и после 60 дней терапии. Изучали уровни магния в крови (плазме и эритроцитах), моче и слюне с помощью атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Интересно, что во всех группах изначально средние уровни магния плазмы были ниже нормы. В плазме крови наиболее эффективным оказался цитрат. Он значительно увеличил уровни магния по сравнению с AAC после

60 дней терапии, однако статистической разницы между результатами в группе цитрата и оксида отмечено не было. В этом исследовании в слюне лишь в группе цитрата существенно увеличился уровень магния. Различий между группами по уровню магния в эритроцитах отмечено не было. Исследователи отмечают, что теоретически оксид магния должен вызывать послабляющий эффект, однако участники эксперимента, получавшие его, не отмечали подобного действия препарата [14].

В 2005г. С. Coudray со своими единомышленниками с помощью ряда тестов исследовал кишечную абсорбцию и элиминацию с мочой, а также накопление в организме крыс-самцов породы Вистар различных соединений магния. Крысы получали окись магния или магния хлорид, или сульфат, или карбонат, или ацетат, или пидолат, или глюконат, или цитрат, или лактат, или аспаргат. Перед исследованием в течение 3 недель крысы получали питание со сниженным содержанием магния (150 мг/кг). Затем крысы во всех группах получали одинаковое количество магния в виде различных его соединений (550 мг/кг массы). Эксперимент продолжали до 6 недель, а затем животных забивали и измерили содержание магния в плазме, эритроцитах и костях с помощью точного метода – масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Плазменные уровни магния, содержание его в эритроцитах и костях после применения разных солей не продемонстрировали существенных отличий с тенденцией к превосходству при применении глюконата магния. Наконец, были исследованы фекальное и мочевое выведение магния и рассчитана абсорбция магния из кишечника. Результаты демонстрируют отставание неорганических соединений магния (среди них лучше всасываются магния оксид и хлорид – 48,4 % и 48,8 % соответственно, хуже всего сульфат – всего 34,8 %), а среди органических солей рекордсмен опять глюконат – 56,8 %.

На основании проведенных исследований был сделан вывод, что при небольшом превосходстве органических соединений магния (особенно, глюконата магния) и некотором отставании магния сульфата все соединения магния в том числе и оксид способны всасываться и влиять на его уровни в крови и тканях [5].

В 2006 г. в журнале «Вопросы питания» были опубликованы результаты отечественного исследования [Конюхова О.С. и соавт.] фармакокинетики препаратов магния и витаминов, проведенного с участием 60 человек, из которых 15 участников эксперимента однократно перорально получили магнийсодержащие препараты Магнерот (500 мг магния оротат; в пересчете на Mg^{2+} – 32,8 мг) и еще 15 – Центрум (100 мг магния оксид; в пересчете на Mg – 60,3 мг). По результатам исследования авторы отмечают, что при приеме изучаемых препаратов магния в организме происходит равное по степени выраженности увеличение концентрации указанного элемента, однако при приеме магния оксида – в более поздние сроки [1].

Изучение биодоступности препаратов магния при приеме внутрь продолжается. В Израиле в Медицинском центре им. Хаима Шиба совсем недавно было проведено комплексное сравнительное исследование двух соединений: оксида магния и цитрата магния. Под наблюдением был 41 пациент, у которых не было диагностированных заболеваний сердца. Они были распределены методом случайной выборки на две группы. В течение одного месяца в каждой группе наблюдаемые получали один из двух препаратов, находящихся на израильском фармацевтическом рынке: магния цитрат под коммерческим названием Диаспораль магния (295,8 мг магния в одной таблетке) или оксид моногидрат магния под коммерческим названием Магнокс 520. По окончании этого месяца был сделан перерыв в приеме препаратов также на 1 мес., после чего, уже на 3-м мес. исследования, добровольцы вновь начали принимать препараты магния, но, кто получал вначале цитрат магния, на этот раз принимали оксид магния, и наоборот. Перед началом и по завершению каждого месячного приема препаратов проводилось исследование концентраций магния в сыворотке крови и в клетках тканей организма участников эксперимента, изучали активность тромбоцитов, концентрации электролитов в сыворотке крови. Было установлено, что прием оксида магния существенным образом повысил концентрацию магния в клетках организма, привел к снижению концентраций холестерина низкой плотности и С-реактивного белка. При этом прием цитрата маг-

ния не привел к таким положительным изменениям лабораторных показателей. Функциональная активность тромбоцитов улучшилась под влиянием приема обоих препаратов [12].

Таким образом, результаты немногочисленных фармакокинетических исследований, определяющих особенности всасывания различных солей магния из ЖКТ, демонстрируют целый ряд факторов, препятствующих изучению кишечной абсорбции препаратов магния.

Большинство исследований фармакокинетики соединений магния заключались в изучении уровня мочевой экскреции магния в течение суток и/или концентрации в плазме/сыворотке крови ионов магния, что дает возможность лишь для ориентировочной оценки кишечной абсорбции магния. При этом нельзя забывать, что уровни магния в плазме подвергаются гомеостатическому контролю и магний может из плазмы легко уходить в органы и ткани, и что плазменная концентрация не является точным показателем кишечной абсорбции магния. Более того, уровень магния в сыворотке крови может сохраняться в нормальных пределах даже при снижении общего количества магния в организме на 80 % благодаря высвобождению микроэлемента из депо [7]. Можно сказать, что до настоящего времени нет единой общепринятой методики исследования влияния препаратов магния на его содержание в организме человека, и это очень затрудняет изучение любых фармакокинетических параметров данных соединений. Кроме того, обращают на себя внимание достаточно ограниченное число участников исследований фармакокинетики препаратов магния у человека и противоречащие друг другу результаты.

Некоторые исследователи считают наиболее правильным изучение уровня магния в эритроцитах и/или лимфоцитах, а также его концентрацию в слюне, однако единого мнения по этому вопросу не существует [2, 3, 8].

Исходя из механизмов всасывания магния в кишечнике (пассивная диффузия по электрохимическому градиенту концентрации), можно предположить, что чем меньше растворимость, тем лучше абсорбция в ЖКТ. Но результаты сравнительных исследований указывают на то, что аутсайдером по биодоступности является не оксид магния (который практически не растворим), а сульфат, кото-

рый имеет хорошую растворимость (33,7 г в 100 г воды при 20 °С) [13].

Магния оксид, как и другие соединения магния, в экспериментальных исследованиях доказал способность успешно купировать дефицит этого элемента. К сожалению, вышеуказанные трудности при оценке биодоступности соединений магния препятствуют разработке методологии подобных исследований. Особенно сложно изучать фармакокинетику соединений магния у человека. Моделирование глубокого магниевого дефицита, изучение уровня магния в костях и других тканях, хорошо зарекомендовавшие себя в эксперименте, здесь неприменимы. Необходимо помнить, что организация объективных исследований фармакокинетических параметров соединений магния у человека должна учитывать необходимость контроля поступления магния с пищей, естественных циркадных (суточных) изменений уровня эндогенного магния в крови, определения емкости магниевых депо.

В своей работе [13] авторы приписывают MgO способность снижать раздражительность кишечника в пациенты с диареей. Также указывается ценное свойство MgO как лекарства от некоторых ядов (таких как фосфор, мышьяк или кислоты) или от образования отложений мочевой кислоты в почках.

В 2018 году были опубликованы результаты исследования антимикробной активности и механизма действия наночастиц оксида магния (nMgO) против патогенных бактерий, дрожжей и биопленок [18].

Целью данного исследования было выявление и прямое сравнение эффективности методов и условий наночастицы оксида магния против девяти распространенных патогенных микроорганизмов, в том числе двух грамотрицательных бактерий, трех грамположительных бактерий с лекарственно-устойчивыми штаммами и четырех дрожжей с лекарственным средством [18].

Антимикробная наночастица оксида магния (nMgO) на основе легкого металла, обладала способностью метаболизироваться и полностью всасываться в организме. Показано, для того, чтобы воспользоваться антимикробными свойствами nMgO для медицинского применения, необходимо определить минимальные ингибирующие, бактерицидные и

фунгицидные концентрации (MIC, MBC и MFC) nMgO в отношении распространенных инфекционных бактерий и дрожжей. MIC nMgO варьировала от 0,5 мг/мл до 1,2 мг/мл, а минимальная летальная концентрация (MLC) nMgO при 90 %-ном уничтожении варьировала от 0,7 мг/мл до 1,4 мг/мл против различных патогенных бактерий и дрожжей. Наиболее сильные концентрации (ПДК) nMgO составляли 1,4 и/или 1,6 мг/мл, в зависимости от типа бактерий и тестируемых дрожжей. По мере увеличения концентрации nMgO адгезия бактерий и дрожжей снижалась. Кроме того, биопленка *S. epidermidis* была нарушена при 1,6 мг/мл nMgO. Кишечная палочка и некоторые дрожжи вызывали повреждение мембран после культивирования с $\geq 0,5$ мг/мл nMgO. В целом, наночастица оксида магния (nMgO) убивала, как планктонные бактерии, так и разрушал возникающие биопленки, предполагая новые антимикробные механизмы действия nMgO. Необходимы дальнейшие исследования, чтобы определить, могут ли конкретные концентрации nMgO на уровне MIC, MLC или MPC быть интегрированы в медицинские технологии, чтобы вызывать противомикробные реакции без вреда для клеток-хозяев.

Кроме того, была работа, в которой рассматривалось влияние оксида магния на концентрацию дулоксетина в сыворотке, и антидепрессантоподобные эффекты дулоксетина у крыс.

Как известно, дулоксетин является ингибитором обратного захвата серотонина/норадреналина, который используется в качестве антидепрессанта. Однако при этом возможен такой побочный эффект, как запор. Для ослабления нежелательного эффекта соединения магния, такие как оксид магния и водный раствор гидроксида магния, комбинируют с дулоксетином. Однако существует опасность, что соединения магния в результате физико-химических взаимодействий могут изменять эффекты дулоксетина. В своем исследовании авторы попытались прояснить взаимодействия, которые имеют место между дулоксетином и оксидом магния, используя эксперименты *in vivo* и *in vitro*. Было оценено влияние оксида магния на концентрацию дулоксетина *in vitro* с помощью Высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ). Помимо этого, *in vivo* исследованы антидепрессантоподобные эффекты и сывороточ-

ные концентрации дулоксетина у крыс. В эксперименте *in vitro* концентрация дулоксетина была значительно снижена при совместной обработке оксидом магния. В эксперименте *in vivo* на антидепрессантоподобные эффекты дулоксетина не влияло комбинированное пероральное введение оксида магния и дулоксетиновой композиции, хотя уровень дулоксетина в сыворотке был значительно снижен. Однако антидепрессантоподобные эффекты дулоксетинового составляющего были значительно ослаблены совместным введением оксида магния [19]. Эти результаты предполагают, что дулоксетин и оксид магния напрямую взаимодействуют и что такие взаимодействия влияют на абсорбцию и антидепрессантоподобные эффекты дулоксетина.

В публикации 2019 года [20] представлены результаты изучения механических и трибологических свойств композиций трикальцийфосфат. Группой ученых было проведено исследование механических свойств матрицы трикальцийфосфата, спеченной с различными количествами оксида магния. Охарактеризованы механические свойства нового композиционного материала трикальцийфосфат- оксид магния такие, как прочность на разрыв, твердость по Виккерсу и модуль упругости. В работе исследовано влияние процесса спекания на структурные изменения композитов. Показано, что при температуре спекания 1300 °С для трикальцийфосфата, содержащего 5 мас. % MgO достигаются максимальные показатели по механической прочности и модулю Юнга композитов 9 МПа и 38 ГПа соответственно. Данный результат может быть объяснен образованием новой жидкой фазы, которая помогает заполнить поры в микроструктуре. Уже при более высокой температуре 1400 °С и более чем 5 мас. % содержания MgO улучшению характеристикам композитов препятствует образование внутризернистой пористости и, сопровождающий ее, чрезмерный рост зерна. Так же отмечено, что добавление оксида магния к матрице трикальцийфосфата способствует снижению скорости износа и коэффициента трения. В работе также указано, что данные композитные материалы по целому ряду близки к эмалям. Возможно использование в медицине.

В еще одной работе [16] представлена информация о разработке простого, экономичного, одностадийного процесса модификации по-

ристого углерода оксидом магния, легированного азотом, методом термического разложения, и продемонстрированы его характеристики в качестве адсорбента газа CO₂ и CH₄ при высоким давлением. Пористая сеть в полученных образцах была идентифицирована морфологическими методами исследования. Представлены результаты элементного анализа. Наблюдалось, представленные образцы обладают заметно высокой адсорбционной способностью по отношению к CO₂ (30 ммоль⁻¹ при 2 • 10⁶ Па и 25 °С), а также к адсорбционной способности CH₄ (12 ммоль⁻¹ при 3 • 10⁶ Па и 25 °С). Модификация поверхности образцов (вызванная присутствием наночастиц MgO) наряду с большой площадью поверхности и хорошей пористостью, содержащей взаимосвязанные макро-/мезо-/микропоры, синергетически улучшает адсорбционную способность. Влияние концентрации MgO на газопоглощающие способности также было исследовано по изотерме адсорбции. Умеренная теплота адсорбции, а также хорошая перерабатываемость и селективность при высоком давлении показывают, что модифицированный оксидом магния пористый углеродный композит, легированный азотом, может быть использован, как для улавливания CO₂, так и для хранения CH₄.

Каждая сфера применения предъявляет свои требования к качеству оксида магния. Массовая доля оксида магния для большинства заказчиков должна составлять не менее 92 %. Требования по содержанию примесей различны в зависимости от среды применения и конкретных конечных потребителей оксида магния.

Так, например, ОАО «Михайловский завод химических реактивов» (Алтайский край) предприятие специализируется на производстве химических реактивов, в том числе и химически осажденного оксида магния по ТУ 6-09-302379 с содержанием основного вещества 83 %. В качестве сырья, используются покупная магнезитная руда. По своим характеристикам изготовленный продукт имеет ограниченное применение в качестве магнийсодержащей добавки в корма животным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Громова, О.А. Ретроспектива фармакокинетических исследований магниевых препаратов/

О.А. Громова, И.Ю. Торшин, И.С. Юргель // Трудный пациент. 2009. № 6–7. С. 44–48.

2. Лебедев, В.А. Клиническое значение дефицита магния у женщин с предменструальным синдромом / В.А. Лебедев, В.М. Пашков, П.В. Буданов // Вопросы гинекологии, акушерства и перинатологии. – 2008. – № 7(1). – С. 77–82.

3. Марино, П.Л. Интенсивная терапия. / П.Л. Марино – М.: ГЭОТАР-МЕДИА, 2010. – 770 с.

4. Минделл, Э. Справочник по витаминам и минеральным веществам/ Э. Минделл – М.: Медицина и питание, 2000. – С. 83–85.

5. Спасов, А.А. Сравнительная фармакологическая активность органических и неорганических солей магния в условиях системной алиментарной гипомagneзии / А.А. Спасов, В.И. Петров, А.А. Озеров // Вестник Российской Академии медицинских наук. – 2010. – № 2. – С. 29–37.

6. Химическая энциклопедия: В 5 т.: т.2: Даффа-Меди /Редкол.: Кнунянц И. Л. (гл. ред.) и др. – М.: Сов. энцикл., 1990. – 671 с.

7. Шехтер, М. Магний – минерал для здоровой жизни/ М. Шехтер – Режим доступа: www.navehpharma.co.il/ru/products_magnox.php.

8. Ших, Е.В. Результаты применения магнийсодержащих препаратов и различных нагрузочных доз витаминов В1 и В2 у добровольцев/ Е.В. Ших, О.С. Конюхова, Л.И. Красных // Вопросы питания. – 2006. – № 6. – С. 24–29.

9. American Academy of Sleep Medicine. Two week sleep diary. – Accessed July 26, 2012 (<http://yoursleep.aasmnet.org/pdf/sleepdiary.pdf>).

10. Borella, P. Magnesium supplementation in adults with marginal deficiency: Response in blood indices, urine and saliva/ P. Borella, G. Bargellini, G. Ambrosini // Magnesium-Bulletin. 1994. Vol. 16. P. 1–4.

11. Coudray, C. Study of magnesium bioavailability from ten organic and inorganic Mg salts in Mg-depleted rats using a stable isotope approach/ C. Coudray, M. Rambeau, C. Feillet-Coudray // Magnes Res. 2005. Vol. 18(4). P. 215–223.

12. Cook, D.A. Availability of magnesium: balance studies in rats with various inorganic magnesium salts/ D.A. Cook // J. Nutr. 1973. Vol. 103(9). P. 1365–1370.

13. Duley, L. Magnesium sulphate and other anticonvulsants for women with pre-eclampsia. / L. Duley, A.M. Gulmezoglu, D.J. Henderson-Smart, D. Chou // Cochrane Database Syst Rev, 2010.

14. Schuette, S.A. Bioavailability of magnesium diglycinate vs magnesium oxide in patients with ileal resection / S.A. Schuette, B.A. Lashner, M. Janghorbani // JPEN J. Parenter. Enteral. Nutr. 1994. Vol. 18(5). P. 430–435.

15. Walker, A.F. Mg citrate found more bioavailable than other Mg preparations in a

randomised, double-blind study/ A.F. Walker, G. Marakis, S. Christie, M. Byng // Magnes Res. 2003. Vol. 16(3). P. 183–191.

16. Ghosh, S. Magnesium oxide modified nitrogen-doped porous carbon composite as an efficient candidate for high pressure carbon dioxide capture and methane storage/ S. Ghosh, R. Sarathi, S. Ramaprabhu // J Colloid Interface Sci. 2018 Dec 17;539:245–256. – <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30583204>.

17. Hawkins, J. Handouts & questionnaires for sleep, ADHD & fatigue. Updated October 29, 2008. Accessed July 6, 2012.

18. Nguyen, N.T. Antimicrobial Activities and Mechanisms of Magnesium Oxide Nanoparticles (nMgO) against Pathogenic Bacteria, Yeasts, and Biofilms/ N.T. Nguyen, N. Grelling, C.L. Wetteland, R. Rosario, H. Liu // Sci Rep. 2018 Nov 2;8(1). – <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30389984>.

19. RAND. 36-Item Short Form Survey (SF-36). Accessed July 26, 2012. – https://www.rand.org/health-care/surveys_tools/mos/36-item-short-form.html.

20. Trabelsi, M. Mechanical and tribological properties of the tricalcium phosphate – magnesium oxide composites/ M. Trabelsi, I. Al Shahrani, H. Algarni, F. Ben Ayed, E.S. Yousef // Mater Sci Eng C Mater Biol Appl. 2019 Mar. 96:716–729. doi: 10.1016/j.msec.2018.11.070. Epub 2018 Nov 29. – <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30389984>.

REFERENCES

1. Gromova O.A., Torshin I.Ju., Jurgel' I.S. Retrospektiva farmakokineticheskikh issledovanij magnievih preparatov // Trudnyj pacient. 2009. № 6–7. S. 44–48.

2. Lebedev V.A., Pashkov V.M. Budanov P.V. Klinicheskoe znachenie deficita magnija u zhenshhin s predmenstrual'nym sindromom // Voprosy ginekologii, akusherstva i perinatologii. 2008. № 7(1). S. 77–82.

3. Marino P.L. Intensivnaja terapija. M.: GJeOTAR-MEDIA, 2010. 770 s.

4. Mindell Je. Spravochnik po vitaminam i mineral'nym veshhestvam. – M.: Medicina i pitanie, 2000. – S. 83–85.

5. Spasov A.A., Petrov V.I, Ozerov A.A. i dr. Sravnitel'naja farmakologicheskaja aktivnost' organicheskikh i neorganicheskikh solej magnija v uslovijah sistemnoj alimentarnoj gipomagnezii // Vestnik Rossijskoj Akademii medicinskih nauk. 2010. № 2. S. 29–37.

6. Himicheskaja jenciklopedija: V 5 t.: t.2: Daffa-Medi/Redkol.: Knunjanc I. L. (gl. red.) i dr. – M.: Sov. jencikl., 1990. – 671 s.

7. Shehter M. Magnij – mineral dlja zdorovoj zhizni. www.navehpharma.co.il/ru/products_magnox.php
8. Shih E.V., Konjuhova O.S., Krasnyh L.I. Rezul'taty primeneniya magnijsoderzhashhih preparatov i razlichnyh nagruzochnyh doz vitaminov V1 i V2 u dobrovol'cev // Voprosy pitaniya. 2006. № 6. S. 24–29.
9. American Academy of Sleep Medicine. Two week sleep diary. Accessed July 26, 2012 (<http://yoursleep.aasmnet.org/pdf/sleepdiary.pdf>).
10. Borella P., Bargellini G., Ambrosini G. Magnesium supplementation in adults with marginal deficiency: Response in blood indices, urine and saliva // Magnesium-Bulletin. 1994. Vol. 16. P. 1–4.
11. Coudray C., Rambeau M., Feillet-Coudray C. et al. Study of magnesium bioavailability from ten organic and inorganic Mg salts in Mg-depleted rats using a stable isotope approach // Magnes Res. 2005. Vol.18(4). P. 215–223.
12. Cook D.A. Availability of magnesium: balance studies in rats with various inorganic magnesium salts // J. Nutr. 1973. Vol. 103(9). P. 1365–1370.
13. Duley L, Gulmezoglu AM, Henderson-Smart DJ, Chou D. Magnesium sulphate and other anticonvulsants for women with pre-eclampsia. Cochrane Database Syst Rev, 2010.
14. Schuette S.A., Lashner B.A., Janghorbani M. Bioavailability of magnesium diglycinate vs magnesium oxide in patients with ileal resection // JPEN J. Parenter. Enteral. Nutr. 1994. Vol. 18(5). P. 430–435.
15. Walker A.F., Marakis G., Christie S., Byng M. Mg citrate found more bioavailable than other Mg preparations in a randomised, double-blind study // Magnes Res. 2003. Vol.16 (3). P.183–191.
16. Ghosh S, Sarathi R, Ramaprabhu S. Magnesium oxide modified nitrogen-doped porous carbon composite as an efficient candidate for high pressure carbon dioxide capture and methane storage. J Colloid Interface Sci. 2018 Dec 17;539:245–256. doi: 10.1016. (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30583204>).
17. Hawkins J. Handouts & questionnaires for sleep, ADHD & fatigue. Updated October 29, 2008. Accessed July 6, 2012.
18. Nguyen NT, Grelling N, Wetteland CL, Rosario R Liu H. Antimicrobial Activities and Mechanisms of Magnesium Oxide Nanoparticles (nMgO) against Pathogenic Bacteria, Yeasts, and Biofilms. Sci Rep. 2018 Nov 2;8(1). (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30389984>).
19. RAND. 36-Item Short Form Survey (SF-36). Accessed July 26, 2012. (https://www.rand.org/health-care/surveys_tools/mos/36-item-short-form.html).
20. Trabelsi M, AlShahrani I, Algarni H, Ben Ayed F, Yousef ES. Mechanical and tribological properties of the tricalcium phosphate – magnesium oxide composites. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl. 2019 Mar. 96:716–729. doi: 10.1016/j.msec.2018.11.070. Epub 2018 Nov 29. (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30389984>).

Information about the Authors

Ivan M. Osadchenko, Doctor of science (Chemistry), Professor, Volga Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products, ul. im. Rokossovskogo, 6, 400120 Volgograd, Russian Federation.

Mikhail P. Lyabin, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Bioengineering and Bioinformatics, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, dollaps@mail.ru.

Anastasia D. Romanovskova, Student, Department of Bioengineering and Bioinformatics, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, nromanovskova@yandex.ru.

Информация об авторах

Иван Михайлович Осадченко, доктор химических наук, профессор, Поволжский НИИ производства и переработки мясо-молочной продукции, ул. им. Рокоссовского, 6, 400120 г. Волгоград, Российская Федерация.

Михаил Павлович Лябин, кандидат химических наук, доцент кафедры биоинженерии и биоинформатики, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, dollaps@mail.ru.

Анастасия Дмитриевна Романовскова, студент, кафедра биоинженерии и биоинформатики, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, nromanovskova@yandex.ru.