

КАЛОЇДНАЯ ХІМІЯ
COLLOIDAL CHEMISTRY

УДК 54.052+54.77.023.5+54–31

Поступила в редакцию 10.01.2017

Received 10.01.2017

**И. В. Мацукевич, А. Н. Ручец, Н. П. Крутько, Л. В. Кульбицкая,
Т. Ф. Кузнецова, В. В. Вашук**

Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

**СИНТЕЗ И АДсорбЦИОННЫЕ СВОЙСТВА
НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ $Mg(OH)_2$ И MgO**

Аннотация. Оксид магния находит широкое применение в качестве адсорбента, катализатора, идентификатора загрязняющих химических и токсических веществ, в процессах водо- и газоочистки. В настоящей работе методом осаждения синтезированы мезопористые порошки гидроксида и оксида магния, изучена их кристаллическая структура, микроструктура, гранулометрический состав и адсорбционные свойства. Полученные порошки $Mg(OH)_2$ и MgO продемонстрировали высокие значения общего объема пор – 0,737 и 1,038 cm^3/g соответственно, что открывает широкие возможности их использования в качестве нанореакторов для синтеза наноразмерных изолированных частиц и создания на их основе полимаршрутных катализаторов.

Ключевые слова: оксид магния, гидроксид магния, метод осаждения, размер частиц, адсорбционные свойства, мезопористый порошок

Для цитирования. Синтез и адсорбционные свойства наноструктурированных порошков $Mg(OH)_2$ и MgO / И. В. Мацукевич [и др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. хим. наук. – 2017. – № 4. – С. 38–44.

I. V. Matsukevich, A. N. Ruchets, N. P. Krutko, L. V. Kulbitskaya, T. F. Kuznetsova, V. V. Vashook

*Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Belarus*

SYNTHESIS AND ADSORPTION PROPERTIES OF NANOSTRUCTURED POWDERS $Mg(OH)_2$ AND MgO

Abstract. Magnesium oxide has found applications as adsorbent, catalyst and identifier of the contamination of chemicals and toxic substances in the processes of water and gases purification. In this work, mesoporous magnesium hydroxide and oxide were synthesized from water solutions by easy and cheap wet chemistry method. Crystal structure, particle size distribution and adsorption properties of the synthesized powders were studied. Obtained powders of $Mg(OH)_2$ and MgO showed sufficiently high total pore volume – 0.737 and 1.038 cm^3/g , respectively, which opens an opportunity to use them as nanoreactors for the synthesis of isolated nanosized particles and multidirection catalysts.

Keywords: magnesium oxide, magnesium hydroxide, precipitation method, particle size, adsorption properties, mesoporous powder

For citation. Matsukevich I. V., Ruchets A. N., Krutko N. P., Kulbitskaya L. V., Kuznetsova T. F., Vashook V. V. Synthesis and adsorption properties of nanostructured powders $Mg(OH)_2$ and MgO . *Vesti Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk=Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Chemical series*, 2017, no. 4, pp. 38–44 (In Russian).

Введение. Высокодисперсный оксид магния является технологически значимым материалом, так как имеет очень широкий круг применения: используется для гетерогенного катализа в органическом синтезе [1–4], в производстве датчиков влажности и кислых газов, в процессах водо- и газоочистки от кислых примесей [5, 6], для дезактивации химического оружия и боевых отравляющих веществ и нейтрализации токсических выбросов [7, 8], в качестве антибактериального агента [9] и др. Свойства оксида магния во многом определяются свойствами прекурсоров, используемых для его получения, в том числе $Mg(OH)_2$. В свою очередь гидроксид магния находит

широкое применение как флокулянт для очистки сточных вод и нейтрализации сбросовых кислот, а также как катализатор в органическом синтезе [10, 11]. Как антипирен $\text{Mg}(\text{OH})_2$ выигрывает у активно используемого гидроксида алюминия сразу по нескольким показателям: более высокий диапазон тепловой деструкции (330–370°C) по сравнению с $\text{Al}(\text{OH})_3$ (190–230°C), малое дымовыделение (за счет образования хлорида магния, который катализирует процессы сшивки полиеновых цепей, что подавляет образование летучих ароматических углеводородов), возможность снижения дозировки примерно от 70 до 50 мас.%, что обеспечивает стабильность физико-механических свойств полимеров [12]. Степень дисперсности, микроструктура, гранулометрический состав порошков $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и MgO в большой мере определяют область или пригодность его использования. В то же время проблема эффективного контроля дисперсности и синтеза порошков $\text{Mg}(\text{OH})_2$ с узким распределением частиц по размерам остается нерешенной, несмотря на высокую активность исследований в этом направлении.

Цель работы – получение наноструктурированных порошков гидроксида и оксида магния, а также изучение влияния конкретных условий синтеза на дисперсность, микроструктуру и физико-химические свойства полученных материалов. Для синтеза высокодисперсных порошков $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и MgO выбран метод осаждения из водных и водно-спиртовых растворов, не требующий использования сложного оборудования, данный метод характеризуется доступностью и позволяет получить стабилизированные частицы с высоким выходом продукта [10, 11, 13].

Методика эксперимента. Порошки гидроксида магния получали методом осаждения. В первом случае (образец I) к 0,5 М водному раствору хлорида магния, приготовленному из $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (ч.д.а.), в эквимольном соотношении с постоянной скоростью около 1 мл/с и при постоянном перемешивании добавляли 0,5 М водный раствор осадителя NaOH (ч.д.а.). Во втором случае для получения образцов II и III использовали 2 М водные и водно-спиртовые (при массовом отношении $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ к H_2O , равном 2 : 3) растворы хлорида магния соответственно. Для этих образцов одномоментно подавали весь заранее рассчитанный объем 2 М водного (для образца II) и водно-спиртового раствора (для образца III) осадителя NaOH , при этом показатель pH среды осаждения составлял 12. После осаждения полученный гелеобразный осадок многократно промывали дистиллированной водой, фильтровали и сушили до постоянной массы при температуре 105 °С. Оксид магния получали отжигом образца I при температуре 550 °С в течение 2 ч. Затем полученные образцы подвергали тщательному перетиранию.

Идентификацию образцов проводили при помощи рентгенофазового анализа (РФА) (рентгеновский дифрактометр Дрон-3, Cu-K_α -излучение), микроструктуру порошков исследовали при помощи сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LV (Япония). Размеры кристаллитов (t_1 , нм), т. е. размеры первичных частиц, оценивали по уширениям рентгеновских дифракционных пиков с помощью формулы Дебая–Шеррера.

Гранулометрический состав (распределение по размерам вторичных частиц) порошков определяли при помощи системы для исследования наночастиц Malvern Zetasizer Nano ZS (Великобритания). Исследования гранулометрического состава порошков $\text{Mg}(\text{OH})_2$ проводили, предварительно обработав их спиртовые суспензии в ультразвуковой ванне с рабочей частотой $17 \pm 1,7$ кГц в течение 30 мин. Микрофотографии гидроксида магния получили при помощи сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LV (Япония).

Адсорбционные свойства образцов оценивали объемным методом на анализаторе площади поверхности и пористости ASAP 2020 MP (Micromeritics, США) из изотерм низкотемпературной (–196 °С) статической физической адсорбции–десорбции азота. Удельную поверхность определяли одно- и многоточечным методом Брунауэра–Эммета–Теллера (A_{sp} и A_{BET} , $\text{m}^2/\text{г}$). Удельный объем пор ($V_{sp\ des}$, $\text{см}^3/\text{г}$), средний диаметр пор ($D_{sp\ des}$, нм) и распределение пор по размерам в линейной форме определяли методом Барретта–Джойнер–Халенды, используя десорбционную ветвь изотермы с применением модели цилиндрических пор. Перед анализом образцы вакуумировали в течение 1 ч при температуре 100°C и остаточном давлении $133,3 \cdot 10^{-3}$ Па.

Результаты и их обсуждение. Согласно результатам РФА (рис. 1), образцы после сушки при 105 °С представляли собой гидроксид магния с гексагональной кристаллической структурой брусита (пространственная группа $\text{R}\bar{3}\text{m1}$). Параметры элементарной ячейки составили:

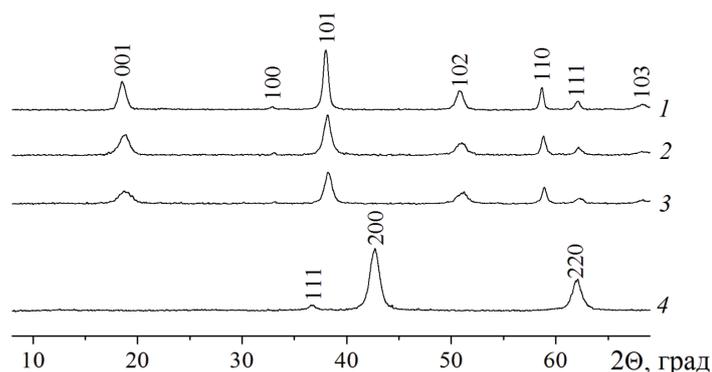


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы образцов гидроксида магния I (1), II (2), III (3) и оксида магния (4)

Fig. 1. XRD diffractograms of magnesium hydroxide I (1) II (2), III (3) and magnesium oxide (4) samples

$a = 0,3143\text{--}0,3148$ нм и $c = 0,4770\text{--}0,4784$ нм, что хорошо согласуется с литературными данными [18]. Параметры элементарной ячейки синтезированных порошков $\text{Mg}(\text{OH})_2$ незначительно изменялись в зависимости от условий их получения (табл. 2). После отжига при температуре 550°C материал идентифицировался как оксид магния со структурой периклаза (рис. 1, табл. 1).

Таблица 1. Значения параметров кристаллической структуры (a , c , V) и размеры первичных частиц (t_1) гидроксида магнияTable 1. Lattice parameters (a , c , V) and particle size (t_1) of magnesium hydroxide primary particles

Образец		a , нм	c , нм	V , нм ³	t_1 , нм
$\text{Mg}(\text{OH})_2$	I	0,3143(1)	0,4770(2)	0,4081(2)	27
	II	0,3148(1)	0,4784(2)	0,4106(2)	20
	III	0,3146(2)	0,4786(3)	0,4102(3)	16
MgO		0,4211(1)	–	0,7468(3)	11

Таблица 2. Размеры преобладающей фракции вторичных частиц (t_2^{pr}), удельная поверхность (A_{BET}), объем ($V_{\text{sp des}}$) и средний диаметр пор ($D_{\text{sp des}}$)Table 2. Size of predominant fraction of the secondary particles (t_2^{pr}), specific surface (A_{BET}), volume ($V_{\text{sp des}}$) and average pore diameter ($D_{\text{sp des}}$)

Образец		t_2^{pr} , нм	A_{BET} , м ² /г	$V_{\text{sp des}}$, см ³ /г	$D_{\text{sp des}}$, нм
$\text{Mg}(\text{OH})_2$	I	79	98	0,737	32
	II	220	59	0,415	30
	III	165	106	0,554	22
MgO		255	124	1,038	35

Как видно из табл. 1, размеры кристаллитов гидроксида магния в зависимости от условий осаждения меняются незначительно. Для оксида магния размеры первичных частиц t_1 уменьшились после отжига $\text{Mg}(\text{OH})_2$, что может быть связано с выделением газообразных продуктов реакции.

Изотермы адсорбции–десорбции азота для $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (рис. 2, а) и MgO (рис. 2, б) относятся к четвертому типу изотерм, присущему мезопористым адсорбентам с размером пор $2 \leq D \leq 50$ нм. В соответствии с формой петель капиллярно-конденсационного гистерезиса на изотермах в области полимолекулярной адсорбции, в образцах присутствуют поры, эквивалентные и цилиндрическим, и щелевидным мезопорам одновременно. Первые образованы, по всей вероятности, консолидированными кристаллитами в агломераты, а вторые – внутриагломератные – пластинчатыми частицами, упакованными в своеобразные «пачки» и «ленты» (рис. 3).

Кривые распределения пор по размерам для $\text{Mg}(\text{OH})_2$ на рис. 2, в доказывают гомогенность мезопор исследованных образцов, а величины диаметров преобладающих пор составляют 14–26 нм.

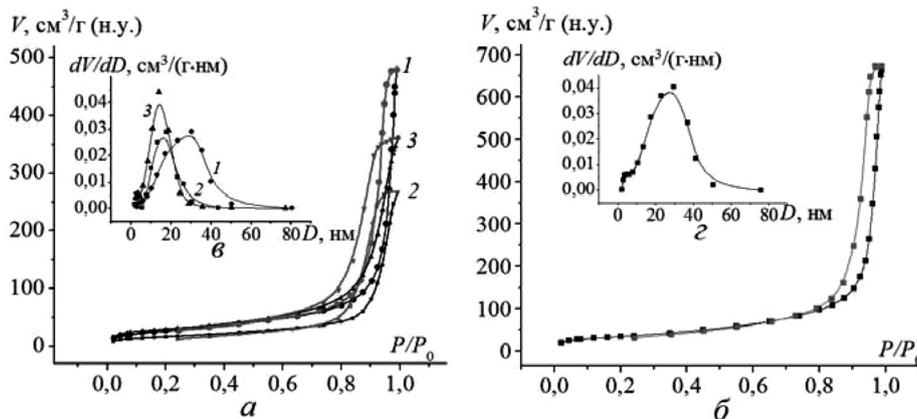


Рис. 2. Изотермы низкотемпературной адсорбции–десорбции азота (*a*, *б*) и дифференциальные распределения мезопор по размерам в линейной форме (*в*, *г*) образцов гидроксида магния I (1), II (2), III (3) и оксида магния (4)

Fig. 2. Low-temperature nitrogen adsorption-desorption isotherms (*a*, *b*) and differential linear-form mesopore size distributions (*v*, *g*) of magnesium hydroxide I (1) II (2), III (3) and magnesium oxide (4) samples

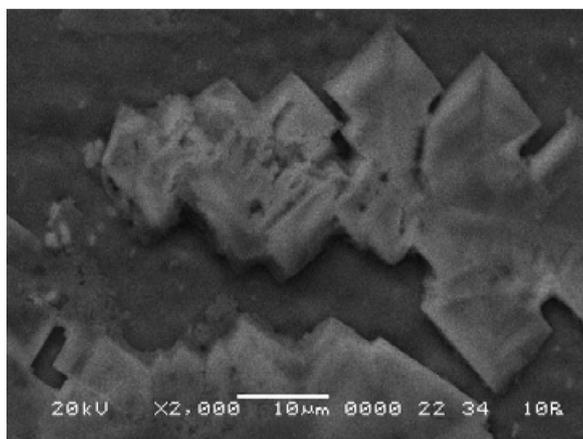


Рис. 3. Электронная микрофотография гидроксида магния

Fig. 3. Electron microscopy image of magnesium hydroxide

Наиболее однородно мезопористым из изученных является образец III, приготовленный из водно-спиртовых растворов. Самый большой удельный объем пор $\text{Mg}(\text{OH})_2$ у образца I, полученного из 0,5 М водных растворов. У него же и достаточно широкий разброс размеров мезопор на кривой распределения и самый высокий средний диаметр пор (рис. 2, табл. 2). Значения удельной поверхности исследованных образцов $\text{Mg}(\text{OH})_2$ в зависимости от условий осаждения находятся в диапазонах 59–106 m^2/g (табл. 2), при чем использование водно-спиртовых растворов позволило почти в 2 раза увеличить удельную поверхность порошков гидроксида магния. Полученные данные хорошо согласуются с результатами работ, в которых сообщено о получении нанопластинок $\text{Mg}(\text{OH})_2$ с удельной поверхностью 80 m^2/g при осаждении с использованием цетилтриметиламмонийбромида в гидротермальных условиях [11], а также порошков гидроксида магния с объемом пор 0,318–0,439 cm^3/g и удельной поверхностью 80–130 m^2/g при осаждении из водно-спиртовых растворов [17].

Удельная поверхность и средний диаметр пор наноструктурированного порошка MgO , полученного после отжига образца I, составили 124 m^2/g и 35 нм соответственно. Данный образец показал очень высокое значение удельного объема пор – 1,038 cm^3/g , что в 3,5–5 раз выше чем для порошков, полученных в работах [18, 19].

Распределение частиц порошка гидроксида магния по размерам является достаточно однородным (рис. 4, *a*) с преобладанием фракций частиц, приведенных в табл. 2. Результаты адсорб-

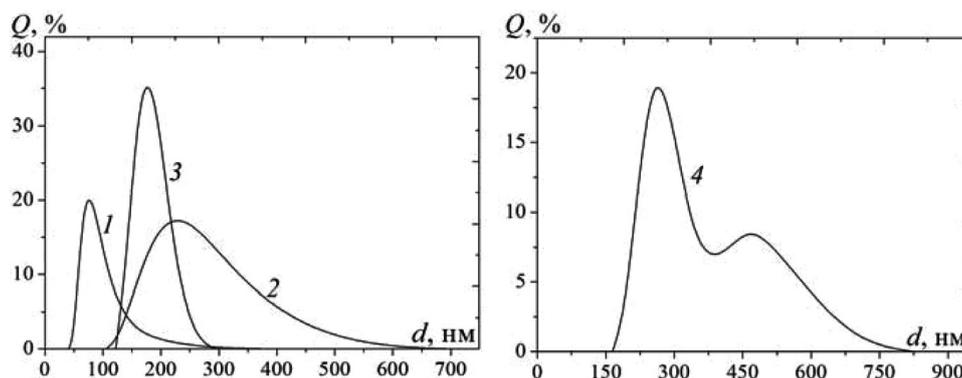


Рис. 4. Дифференциальные кривые распределения частиц по размерам порошков $\text{Mg}(\text{OH})_2$ образцов I (1), II (2) и III (3) и MgO (4)

Fig. 4. Differential size distribution curves of $\text{Mg}(\text{OH})_2$ I (1), II (2), III (3) and MgO (4) sample powders

ционных исследований и анализа гранулометрического состава хорошо согласуются: образец I, показавший наибольшее значение удельной поверхности, имеет наименьшие размеры вторичных частиц (табл. 2).

Размеры вторичных частиц порошка оксида магния, полученного после отжига при температуре 550 °С и тщательного перетирания, изменяются в более широких пределах (рис. 4, б), при этом преобладающими являются фракции с размерами частиц 230–300 и 400–500 нм. Очевидно, значительное увеличение размеров агломератов оксида магния после термообработки связано со спеканием по границам вторичных частиц.

Заключение. Синтезированы мезопористые порошки гидроксида и оксида магния с контролируемой структурой агрегации частиц, изучена их кристаллическая структура, гранулометрический состав и адсорбционные свойства. Средние размеры первичных частиц $\text{Mg}(\text{OH})_2$ составили 16–27 нм, а размеры преобладающей фракции вторичных частиц были в пределах 79–220 нм. Показано, что после термообработки MgO сохраняет основные адсорбционно-структурные свойства, сформированные на этапе синтеза гидроксида магния, что может выступать в качестве дополнительного фактора регулирования этими свойствами. Полученные порошки $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и MgO продемонстрировали высокие значения общего объема пор – 0,737 и 1,038 см³/г соответственно, что открывает широкие возможности для создания на его основе нанореакторов для синтеза наноразмерных изолированных частиц и полимаршрутных катализаторов.

Благодарности. Авторы благодарят В. Г. Лугина за проведение электронно-микроскопических исследований гидроксида магния. Работа выполнена при поддержке ГПНИ «Химические технологии и материалы» (подпрограмма «Новые химические технологии и продукты», задание 1.33).

Acknowledgements. Authors are thankful to V. G. Lugin for carrying out electron microscopic studies of magnesium hydroxide. This work was supported by the State Program of Scientific Research «Chemical technologies and materials» (sub-program «New chemical technologies and products», task 1.33).

Список использованных источников

1. Umar, A. Metal Oxide Nanostructures and their Applications / A. Umar, Y.B. Hahn – American Scientific Publishers. – USA, 2010. – 693 p.
2. Jun, Ch. Catalytic performance of MgO with different exposed crystal facets towards the ozonation of 4-chlorophenol / Ch. Jun, T. Shuanghong, L. Jiang, X. Ya // Applied Catalysis A: General. – 2015. – Vol. 506. – P. 118–125.
3. Comparative study of microwave and conventional methods for the preparation and optical properties of novel MgO -micro and nano-structures / N. C. S. Selvama [et al.] // Journal of Alloys and Compounds. – 2011. – Vol. 509 – P. 9809– 9815.
4. Synthesis and comparison of the photocatalytic activities of flame spray pyrolysis and sol–gel derived magnesium oxide nano-scale particles / S. Demirci [et al.] // Materials Science in Semiconductor Processing – 2015. – Vol. 34. – P. 154–161.
5. Synthesis and characterization of porous magnesium and oxide nanoplates / J. C. Yu [et al.] // Journal of Physical Chemistry – 2004. – Vol. 108. – P. 64–70.
6. Synthesis of magnesium oxide nanoparticles by sol-gel process / W. Rizwan [et al.] // Materials Science Forum – 2007. – Vol. 558–559. – P. 983–986.

7. Zeyneb, C. Magnesium Oxide Nanoparticles: Preparation, Characterization, and Uranium Sorption Properties / C. Zeyneb, E. Sema (Akyil), Y. Sabriye (Doyurum) // *Environmental Progress and Sustainable Energy* – 2012. – Vol. 31, iss. 4. – P. 536–543.
8. Сергеев, Г. Б. Нанохимия / Г. Б. Сергеев. – М.: МГУ, 2003. – 288 с.
9. Structural, morphological and optical properties of MgO nanoparticles for antibacterial applications / M. R. Bindhu [et al.] // *Materials Letters* / – 2016. – Vol. 166. – P. 19–22.
10. Kumari L. Synthesis, characterization and optical properties of Mg(OH)₂ micro-/nanostructure and its conversion to MgO / L. Kumari [et al.] // *Ceramics International* – 2009. – Vol. 35 – P. 3355–3364.
11. Saoud Kh. M. Microwave assisted preparation of magnesium hydroxide nano-sheets / Kh. M. Saoud, Sh. Saeed, R. M. Al-Soubaihi, M.F. Bertino // *American Journal of Nanomaterials*. – 2014. – Vol. 2, № 2. – P. 21–25.
12. Наночастицы антипирена гидроксида магния и способ их производства: пат. RU 2561379 C2 / Е. П. Гордон, А. В. Коротченко, Н. И. Левченко Т. С. Угновенок. – Опубл. 10.05.2015.
13. Microwave assisted rapid growth of Mg(OH)₂ nanosheet networks for ethanol chemical sensor application / F. Al-Hazmi [et al.] // *Journal of Alloys and Compounds* – 2012. – Vol. 519 – P. 4–8.
14. Powder Diffraction File. Swarthmore: Joint Committee on Powder Diffraction Standard: Card № 00–007–0239.
15. Ghanbari, D. Preparation of flower-like magnesium hydroxide nanostructure and its influence on the thermal stability of poly vinyl acetate and poly vinyl alcohol / D. Ghanbari, M. Salavati-Niasari, M. Sabet // *Composites Part B: Engineering*. – 2013. – Vol. 45. – P. 550–555.
16. The Effect of Flower-Like Magnesium Hydroxide Nanostructure on the Thermal Stability of Cellulose Acetate and Acrylonitrile–Butadiene–Styrene / F. Gholamian [et al.] // *Journal of Cluster Science*. – 2013. – Vol 24. – P. 73–84.
17. Комаров, В. С. Научные основы синтеза адсорбентов / В. С. Комаров. – Минск: Беларус. навука, 2013. – С. 93.
18. Synthesizing nanocrystal-assembled mesoporous magnesium oxide using cotton fibres as exotemplate / R.-Q. Sun, L.-B. Sun [et al.] // *Microporous and Mesoporous Materials*. – 2008. – Vol. 111. – P. 314–322.

References

1. Umar A., Hahn Y. B., *Metal Oxide Nanostructures and their Applications*, American Scientific Publishers, USA, 2010.
2. Jun Ch., Shuanghong T., Jiang L., Ya X., “Catalytic performance of MgO with different exposed crystal facetstowards the ozonation of 4-chlorophenol”, *Applied Catalysis A: General*, 2015, vol. 506, pp. 118–125, doi:10.1016/j.apcata.2015.09.001.
3. Selvama N. C. S., Kumara R. T., Kennedyb L. J., Vijaya J. J., “Comparative study of microwave and conventional methods for the preparation and optical properties of novel MgO-micro and nano-structures”, *Journal of Alloys and Compounds*, 2011, vol. 509, pp. 9809–9815, doi:10.1016/j.jallcom.2011.08.032.
4. Demirci S., Öztürk B., Yildirim S., Bakal F., Erol M., Sancakoğlu O., Yigit R., Celik E., Batar T., “Synthesis and comparison of the photocatalytic activities of flame spray pyrolysis and sol–gel derived magnesium oxide nano-scale particles”, *Materials Sciencein Semiconductor Processing*, 2015, vol. 34, pp. 154–161, doi:10.1016/j.mssp.2015.02.029.
5. Yu J. C., Xu A., Zhang L., Song R., Wu L., “Synthesis and characterization of porous magnesium and oxide nanoplates”, *Journal of Physical Chemistry B*, 2004, vol. 108, pp. 64–70, doi: 0.1021/jp035340w.
6. Rizwan W., Ansari S. G., Dar M. A., Kim Y. S. and Shin H. S., “Synthesis of magnesium oxide nanoparticles by sol-gel process”, *Materials Science Forum*, 2007, vol. 558–559, pp. 983–986, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.558-559.983.
7. Zeyneb C., Sema (Akyil) E., and Sabriye (Doyurum) Y., “Magnesium Oxide Nanoparticles: Preparation, Characterization, and Uranium Sorption Properties”, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 2012, vol. 31, no. 4, pp. 536–543, doi: 10.1002/ep.10575.
8. Sergeev G. B., *Nanokhimiia* [Nano-chemistry], MGU, Moscow, RU, 2003.
9. Bindhu M. R., Umadevi M., Michea M. Kavin, Arasu M. V., Al-Dhabi N. A., “Structural, morphological and optical properties of MgO nanoparticles for antibacterial applications”, *Materials Letters Volume*, 2016, vol. 166, pp. 19–22, doi: 10.1016/j.matlet.2015.12.020.
10. Kumari L., Li W. Z., Vannoy Ch. H., Leblanc R. M., Wang D. Z., “Synthesis, characterization and optical properties of Mg(OH)₂ micro-/nanostructure and its conversion to MgO”, *Ceramics International*, 2009, vol. 35, pp. 3355–3364, doi: 10.1016/j.ceramint.2009.05.035.
11. Saoud Kh. M., Saeed Sh., Al-Soubaihi R. M., M. F., “Bertino Microwave assisted preparation of magnesium hydroxide nano-sheets”, *American Journal of nanomaterials*, 2014, vol. 2, no. 2, pp. 21–25, doi: 10.12691/ajn-2-2-2.
12. Gordon E. P., Levchenko N. I., Korotchenko A. V., Ugnovenok T. S., Otkrytoe Aktsionernoe Obschestvo “Kaustik”, *Nanochastitsy antipirena gidroksida magniia i sposob ikh proizvodstva* [Nanoparticles of flame retardant magnesium hydroxide and a method for their production], Rospatent, Moscow, RU, 2015, Pat. 2561379.
13. Al-Hazmi F., Umar Ah., Dar G. N., Al-Ghamdi A. A., Al-Sayari S. A., Al-Hajry A., Kim S. H., Al-Tuwirqi R., Alnowaiserb F., El-Tantawy F., “Microwave assisted rapid growth of Mg(OH)₂ nanosheet networks for ethanol chemical sensor application”, *Journal of Alloys and Compounds*, 2012, vol. 519, pp. 4–8, doi: 10.1016/j.jallcom.2011.09.089.
14. Powder Diffraction File, Swarthmore: Joint Committee on Powder Diffraction Standard: Card № 00–007–0239.
15. Ghanbari D., Salavati-Niasari M., Sabet M., “Preparation of flower-like magnesium hydroxide nanostructure and its influence on the thermal stability of poly vinyl acetate and poly vinyl alcohol”, *Composites Part B: Engineering*, 2013, vol. 45, pp. 550–555, doi: 10.1016/j.compositesb.2012.09.007.
16. Gholamian F., Salavati-Niasari M., Ghanbari D., Sabet M., “The Effect of Flower-Like Magnesium Hydroxide Nanostructure on the Thermal Stability of Cellulose Acetate and Acrylonitrile–Butadiene–Styrene”, *Journal of Cluster Science*, 2013, vol. 24, pp. 73–84, doi: 10.1007/s10876-012-0518-3.

17. Komarov V. S., *Nauchnye osnovy sinteza adsorbentov* [Scientific bases of the synthesis of adsorbents], Belaruskaja Navuka, Minsk, BY, 2013.

18. Jun Ch., Shuanghong T., Jiang L., Ya. X., “Catalytic performance of MgO with different exposed crystal facets towards the ozonation of 4-chlorophenol”, *Applied Catalysis A: General*, 2015, vol. 506, pp. 118–125, doi: 10.1016/j.apcata.2015.09.001.

19. Sun R.-Q., Sun L.-B., Chun Y., Xu Q.-H., Wu H., “Synthesizing nanocrystal-assembled mesoporous magnesium oxide using cotton fibres as exotemplate”, *Microporous and Mesoporous Materials*, 2008, vol. 111, pp. 314–322, doi: 10.1016/j.micromeso.2007.08.006.

Информация об авторах

Мацукевич Ирина Васильевна – канд. хим. наук, зав. лаб. магниевых соединений, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: irinavas.k1975@gmail.com.

Ручец Анастасия Николаевна – лаборант, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: ruchets.nastya@gmail.com.

Крутько Николай Павлович – академик, д-р хим. наук, профессор, зав. отделом композиционных материалов, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: krutko@igic.bas-net.by.

Кульбицкая Людмила Викторовна – науч. сотрудник, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: anna119@igic.bas-net.by.

Кузнецова Татьяна Федоровна – канд. хим. наук, ст. науч. сотрудник, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: tatyana.fk@gmail.com.

Вашук Владимир Васильевич – д-р хим. наук, доцент, вед. науч. сотрудник, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: vladimir_vashoor@yahoo.com.

Information about the authors

Irina V. Matsukevich – Ph. D. (Chemistry), Head of the Laboratory of Magnesium Compounds, Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: irinavas.k1975@gmail.com.

Anastasiya N. Ruchets – Assistant, Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ruchets.nastya@gmail.com.

Nikolay P. Krutko – Academician, D. Sc. (Chemistry), Head of the Department of Composite Materials, Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: krutko@igic.bas-net.by.

Ludmila V. Kulbitskaya – Research, Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anna119@igic.bas-net.by.

Tatyana F. Kuznetsova – Ph. D. (Chemistry), Senior Researcher, Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tatyana.fk@gmail.com.

Vladimir V. Vashook – D. Sc. (Chemistry), Associate Professor, Leading Researcher, Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vladimir_vashoor@yahoo.com.