

ISSN 1561-8331 (Print)
ISSN 2524-2342 (Online)

ТЭХНІЧНАЯ ХІМІЯ І ХІМІЧНАЯ ТЭХНАЛОГІЯ
TECHNICAL CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING

УДК 669.721
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-1-87-93>

Поступила в редакцию 03.11.2020
Received 03.11.2020

В. В. Шевчук, Т. Н. Поткина, А. И. Войтенко, О. В. Сметанина

*Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь*

**СИНТЕЗ КАРНАЛЛИТА ИЗ РАСТВОРОВ ХЛОРИДА
МАГНИЯ И КАЛИЯ**

Аннотация. Установлено влияние основных параметров на процесс получения искусственного карналлита и качество продукта. Показано, что для получения продукта с высоким содержанием карналлитовой фазы и небольшим содержанием бишофита и KCl необходимо использовать раствор хлорида магния с концентрацией 27–30 %, предварительно нагретый, измельченный хлорид калия, процесс проводить при температуре 80 °С. Образование синтетического карналлита, близкого по составу к обогащенному, происходит при соотношении хлорида калия к хлориду магния в исходной смеси равном или близком к их стехиометрическому соотношению в карналлите. При избытке хлорида калия в реакционной смеси наблюдается повышенное содержание хлоридов калия и натрия в продукте, а при его недостатке продукт содержит повышенное количество бишофитовой фазы. Для снижения гидролиза хлорида магния при обезвоживании в поступающей на синтез смеси следует поддерживать небольшой избыток хлорида калия. Показано, что наиболее выгодная схема получения искусственного карналлита предусматривает неполную выпарку обессульфаченного щелока в присутствии хлорида калия с возвращением обратного карналлитового щелока на стадию обессульфачивания.

Ключевые слова: карналлит, сульфат кальция, сульфат магния, хлормagneзиевый раствор, искусственный карналлит, обессульфачивание, пересыщение, выпарка

Для цитирования. Синтез карналлита из растворов хлорида магния и калия / В. В. Шевчук [и др.] // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2021. – Т. 57, № 1. – С. 87–93. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-1-87-93>

V. V. Shevchuk, T. N. Potkina, A. I. Voitenko, O. V. Smetanina

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

**CARNALLITE SYNTHESIS FROM MAGNESIUM
AND POTASSIUM CHLORIDE SOLUTIONS**

Abstract. The influence of the main parameters on the process of obtaining artificial carnallite and its quality has been established. It is shown that to obtain a product with a high content of the carnallite phase and a low content of bischofite and KCl, it is necessary to use magnesium chloride solution with the concentration of 27–30 % and preheated ground potassium chloride. The process should be carried out at the temperature of 80 °C. The formation of synthetic carnallite, close in composition to the enriched one, occurs when the ratio of potassium chloride to magnesium chloride in the initial mixture is equal or close to their stoichiometric ratio in carnallite. With an excess of potassium chloride in the reaction mixture, an increased content of potassium and sodium chlorides in the product is observed, and with its deficiency, the product contains an increased amount of bischofite phase. To reduce the hydrolysis of magnesium chloride during dehydration, a slight excess of potassium chloride should be maintained in the mixture entering the synthesis. It is shown that the most advantageous scheme for producing artificial carnallite provides for incomplete evaporation of desulfurized liquor in the presence of potassium chloride with the return of circulating carnallite liquor to the desulfurization stage.

Keywords: carnallite, calcium sulfate, magnesium sulfate, chlorine-magnesium solution, artificial carnallite, desulfurization, supersaturation, evaporation

For citation. Shevchuk V. V., Potkina T. N., Voitenko A. I., Smetanina O. V. Carnallite synthesis from magnesium and potassium chloride solutions. *Vestsi Natsyyanal'най akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navyk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2021, vol. 57, no. 1, pp. 87–93. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-1-87-93>

Введение. Полное и комплексное использование сырья является необходимым условием современной технологии переработки руд. Цель работы – синтез искусственного карналлита путем конверсии хлорида калия с остаточным щелоком после совместной выпарки каинитового и карналлитового щелоков, полученных в процессе переработки полиминеральных руд.

Одной из основных операций в производстве магния посредством электролиза хлорида магния является получение исходного хлормagneвиевого сырья. В связи с тем что обезвоживание хлорида магния в смеси с хлоридом калия и хлоридом натрия протекает значительно легче, чем обезвоживание одного хлорида магния, склонного к гидролизу, распространился способ получения металлического магния через искусственный карналлит, отличающийся высокой чистотой и постоянным составом.

По данным [1], карналлит из растворов, содержащих хлориды магния и калия, можно получать как упариванием раствора до начала кристаллизации и последующим охлаждением, так и более глубоким упариванием с получением кристаллизата по реакции:



Согласно диаграмме четырехкомпонентной системы K^+ , $\text{Mg}^{2+} \parallel \text{Cl}^-$, H_2O , чистый карналлит осаждается при исходном массовом соотношении KCl/MgCl_2 , равном 0,2. В этом случае раствор быстро обедняется калием, и далее осаждается бишофит. При увеличении этого значения одновременно с карналлитом осаждается хлорид калия, который затем по мере обеднения раствора калием и при достижении искомого соотношения KCl/MgCl_2 , равного 0,2, достаточно быстро перекристаллизовывается с концентрирующимся при упаривании хлоридом магния в карналлит [2]. Повышение концентрации хлорида калия в растворе оказывает существенное влияние на температуру и скорость кристаллизации карналлита и является основным фактором, ускоряющим процесс кристаллизации карналлита или смеси кристаллов хлорида калия и карналлита. Если исходное соотношение KCl/MgCl_2 выбрать равным таковому в кристаллической фазе карналлита – 0,78, то часть KCl изначально будет находиться в твердой фазе из-за малой его растворимости в растворах хлорида магния.

В ходе кристаллизации карналлита хлорид калия из раствора переходит в осадок в виде карналлита, а избыточный хлорид калия из твердой фазы переходит в жидкую (растворяется) и процесс продолжается до полного испарения воды, присутствующей сверх стехиометрического количества, необходимого для образования карналлита.

Если же необходимо по каким-то причинам исключить присутствие твердой фазы хлорида калия в момент кристаллизации карналлита, то необходимо закидывать процесс упаривания хлормagneвиевого щелока с добавками хлорида калия, не превышающими его растворимость. Этому соответствует соотношение KCl/MgCl_2 , равное 0,2, и небольшая величина конверсии MgCl_2 за один цикл. При этом надо учитывать, что повышение концентрации хлорида магния в растворе смещает область кристаллизации карналлита в сторону более высоких температур.

Материалы и методы исследований. Основные параметры для контроля процесса синтеза карналлита – температура реакционной смеси, соотношение количества солей и содержание в ней свободной воды. В экспериментах варьировали степень испарения раствора по хлормagneвиевому щелоку и расход хлорида калия.

Изучение конверсии хлормagneвиевых щелоков с целью получения карналлита проводили методом выпарки под вакуумом в лабораторном вакуумном испарителе с получением кристаллизата. Степень выпарки и выход кристаллизата рассчитывали от массы щелока. После фильтрации суспензии анализировали состав осадка и оставшийся хлормagneвиевый раствор на содержание ионов и солей, затем рассчитывали фазовый состав кристаллизата. Проверку расчетного фазового состава осуществляли с помощью рентгенофазового анализа. Химический анализ жидкой и твердой фазы в процессе кристаллизации карналлита проводили по ГОСТ 16109-70. «Карналлит обогащенный ТУ».

В табл. 1 представлены результаты предполагаемых двух схем переработки рассолов. Как известно, одна из них предполагает получение суспензии карналлита, пригодной для перекачки

по трубопроводам, т.е. Ж : Т = 1:1. По другой – маточный рассол выпаривается практически полностью и карналлит получают сухим. При таком способе не требуется операция отделения жидкой фазы.

Выпаривание рассола такого состава до твердой массы при стехиометрическом расходе хлорида калия позволяет получить продукт, который может быть использован для производства металлического магния. При такой схеме получения карналлита необходимо строго следить за содержанием сульфат-иона в осадке, содержание которого зависит от его концентрации в исходном обессульфаченном рассоле. Показано, что концентрация сульфат-иона в исходном рассоле должна быть меньше 0,09 %, так как при такой концентрации содержание его в кристаллизате не превышает допустимое.

Таблица 1. Синтез карналлита из растворов MgCl_2 (30,85 %) и KCl (23,3 %), вакуум 160 гПа при температуре 80 °С, температура кристаллизации – 20 °С

Table 1. Carnallite synthesis from MgCl_2 (30.85 %) and KCl (23.3 %) solutions, vacuum 160 hPa at 80 °С, crystallization temperature – 20 °С

Расход KCl г (23,3 %)/100 г р-ла	Соотношение $\text{KCl} : \text{MgCl}_2$	Степень выпарки, %	Химический состав кристаллизата, %		Фазовый состав кристаллизата, %			Степень конверсии MgCl_2 , %
			MgCl_2	KCl	карналлит	бишофит	сильвин	
50	0,38	40	30,99	33,83	90,43	—	9,6	33,7
50	0,38	45	34,45	26,43	98,51	1,49	—	47,2
100	0,76	80	10,10	78,43	29,48	—	70,52	9,7
100	0,76	100	30,71	34,43	89,62	—	10,38	67,8
*100	0,76	110	34,22	26,94	99,86	—	0,14	97,0

*Выпарка и выдержка после выпарки в течение часа при 60 °С, затем охлаждение без доступа атмосферной влаги до 20 °С. Общая длительность процесса определяется содержанием свободной воды. К окончанию выпарки продукт имеет твердую консистенцию при содержании общей воды 35–40 %.

Результаты и их обсуждение. Изучен процесс получения карналлита упариванием растворов, содержащих хлорид калия и хлорид магния, до начала выпадения кристаллов с последующей кристаллизацией карналлита в процессе охлаждения (табл. 1). При дальнейшем испарении воды твердая фаза начинает кристаллизоваться уже во время выпарки. Навеску исходного обессульфаченного хлормagneйного раствора (содержание MgCl_2 – 30,5 %) помещали в вакуум-кристаллизатор, добавляли насыщенный раствор хлорида калия (23,3 %) и упаривали полученный раствор до достижения заданной степени испарения. Раствор хлорида калия в первой серии опытов использовали для того, чтобы исключить возможное неполное растворение кристаллического хлорида калия в насыщенном растворе хлорида магния. Затем охлаждали полученный раствор или суспензию (в зависимости от степени выпарки) при перемешивании до комнатной температуры и снимали пересыщение раствора еще в течение 30 мин при 20 °С. После разделения фаз фильтрованием производили отбор проб фаз для химического анализа.

На фазовый состав кристаллизата влияют степень выпарки и расход хлорида калия. Увеличение расхода добавляемого раствора KCl при небольшой степени выпарки ведет к выделению в твердую фазу сильвина. При соотношении $\text{KCl} : \text{MgCl}_2 = 0,15$ и степени выпарки 20 % в осадке наблюдается избыток хлорида калия, а при увеличении степени выпарки до 25 % при таком же соотношении в осадке появляется бишофит. Как видно из табл. 1, с повышением расхода хлорида калия можно увеличивать степень выпарки. При более глубокой выпарке раствор пересыщен по MgCl_2 , благодаря чему осаждается карналлит, в который перекристаллизовывается и ранее осажденный сильвин. В определенный момент выпарки избыточные количества KCl и MgCl_2 соответствуют стехиометрическому соотношению этих солей в карналлите. В этом случае при перекристаллизации ранее выпавшего сильвина и осаждении карналлита образуется чистый карналлит. Дальнейшая выпарка приводит к избытку в твердой фазе MgCl_2 . В результате осадок включает в себя как карналлит, так и бишофит. Увеличивая расход раствора KCl до стехиометрического по отношению к MgCl_2 в молекуле карналлита $\text{KCl} : \text{MgCl}_2 = 0,76$ и степень выпарки, можно получить высокую степень конверсии как по KCl , так и по MgCl_2 .

Так как использование насыщенного раствора KCl для получения карналлита приводит к внесению в процесс дополнительного количества воды, которая впоследствии должна быть выпарена, проведены исследования по синтезу карналлита из хлормagneйевых щелоков с различной исходной концентрацией и использованием твердого мелкокристаллического KCl (табл. 2 и 3).

Т а б л и ц а 2. Влияние расхода KCl и степени выпарки на состав кристаллизата
(давление – 160 гПа, температура выпарки – 80 °С)

Table 2. Influence of KCl consumption and degree of evaporation on the crystallizate composition
(pressure 160 hPa, evaporation temperature 80 °C)

Расход KCl г/100 г р-ла	Соотношение KCl: MgCl ₂	Степень выпарки, %	Фазовый состав кристаллизата, %			Выход кристаллизата, %	Степень конверсии MgCl ₂ , %
			карналлит	KCl	бишофит		
10,8	0,35	5	93,43	6,572	–	32,56	33,79
11,8	0,38		91,74	8,264	–	34,46	35,11
12,8	0,41		89,41	10,589	–	35,49	35,25
10,8	0,35	10	98,52	1,480	–	37,21	40,72
11,8	0,38		96,12	3,876	–	38,32	40,91
12,8	0,41		93,55	6,448	–	39,16	40,69
10,8	0,35	15	91,74	–	8,26	42,47	48,60
11,8	0,38		97,56	–	2,44	43,68	48,95
12,8	0,41		98,51	1,488	–	44,49	48,68
10,8	0,35	18	92,50	–	7,50	42,23	48,20
11,8	0,38		98,88	–	1,12	43,14	48,11
12,8	0,41		98,16	1,842	–	44,13	48,11
10,8	0,35	20	90,53	–	9,47	43,21	49,66
11,8	0,38		97,13	–	2,87	44,03	49,42
12,8	0,41		99,04	0,963	–	45,33	49,86

Навеску обессульфаченного раствора состава: MgCl₂ – 30,85 %; Ca²⁺ – 0,303 %; SO₄^{2–} – 0,059–0,023 % количественно переносили в вакуум-кристаллизатор и нагревали до требуемой температуры. Затем в раствор вносили рассчитанное количество хлорида калия и после 10 мин перемешивания создавали вакуум и начинали выпарку до достижения заданной степени испарения. Затем суспензию охлаждали при перемешивании, фильтровали, после разделения фаз проводили отбор каждой фазы на химический анализ.

По стехиометрии необходимо на 100 г рассола с таким содержанием хлорида магния добавлять 24,0 г хлорида калия при условии получения сухого продукта. Если проводить выпарку до Ж : Т = 1:1, чтобы суспензия была пригодной для перекачки, необходимо на 100 г рассола внести 12,0 г KCl, так как в реакцию вступает только половина рассола, вторая часть составляет жидкую фазу. На основании этого расход хлорида калия изменяли из расчета 10,8 г / 100 г щелока до 12,8 г/100 г щелока.

Согласно данным табл. 2, при степени выпарки 5–10 % в осадке остается не вступивший в реакцию хлорид калия. При более глубоком выпаривании при недостатке хлорида калия в составе осадка содержится избыточный бишофит, а при избытке – не вступивший в реакцию хлорид калия. Как видно, оптимальные результаты получены при расходе хлорида калия 12,8 г/100 г рассола и степени выпарки 20 %. При таких условиях проведения процесса конверсии Ж : Т составляет 1:1.

Как видно из табл. 1 и 2, с увеличением степени выпарки при одинаковом соотношении хлорида калия к хлориду магния в осадке избыток сильвина уменьшается и появляется избыток бишофита. Увеличение расхода хлорида калия с одновременным повышением степени выпарки повышает степень конверсии хлорида магния в карналлит и одновременно снижает соотношение Ж/Т вплоть до полного исчезновения жидкой фазы при стехиометрическом по карналлиту соотношении KCl/MgCl₂. Состав кристаллизата подтвержден результатами химического, рентгенофазового, термического анализов.

Кинетика растворения хлорида калия в хлормagneйных растворах зависит от концентрации хлормagneйного раствора, крупности частиц хлорида калия, интенсивности перемешивания, температуры процесса, отношения количеств раствора и хлорида калия.

Установлено, что в концентрированном растворе, точка состава которого на фазовой диаграмме системы K^+ , $Mg^{2+} \parallel Cl^- - H_2O$ лежит в поле кристаллизации карналлита, лимитирующей стадией процесса получения карналлита является растворение твердой фазы KCl. Растворяющийся KCl взаимодействует с $MgCl_2$ с образованием карналлита на поверхности кристаллов KCl, который препятствует их дальнейшему растворению. Интенсивное перемешивание приводит к разрушению слоя карналлита, образовавшегося на поверхности кристаллов KCl. С увеличением размера частиц длительность их растворения возрастает, а скорость растворения и растворимость KCl уменьшаются с ростом концентрации $MgCl_2$. Например, при 80 °C в 35,5 %-ном растворе $MgCl_2$ растворимость KCl составляет 1,8 %.

В присутствии достаточного количества жидкой фазы равновесного состава, соответствующего на диаграмме полю кристаллизации карналлита, в наших опытах происходит полная конверсия KCl в карналлит. Это не согласуется с литературными данными, согласно которым кристаллический KCl подвержен экранированию новой фазой карналлита, образующейся на поверхности KCl и препятствующей контакту хлорида калия с раствором и дальнейшей конверсии [3]. В связи с этим предлагается использовать ненасыщенные по $MgCl_2$ растворы (20–25 %). Расхождение результатов экспериментов, скорее всего, связано с отличиями исходных щелоков. В нашем обессульфаченном щелоке содержится NaCl – 0,2 %, KCl – 0,1 %, в приведенных в литературе – до 10 % NaCl.

Изучено влияние расхода хлорида калия и степени выпарки рассола на показатели конверсии хлормagneйного щелока в карналлит и качество последнего при различных температурах синтеза.

Таблица 3. Зависимость состава кристаллизата от температуры фильтрации (давление 160 гПа, выпарка при 80 °C, расход KCl 11,8 г / 100 г, степень выпарки 15 %)

Table 3. Dependence of the crystallizate composition on the filtration temperature (pressure 160 hPa, evaporation at 80 °C, KCl consumption 11.8 g / 100 g, degree of evaporation 15 %)

Т фильтрации, °C	Фазовый состав кристаллизата, %			Выход кристаллизата, %	Степень конверсии $MgCl_2$, %	Химический состав рассола			
	карналлит	KCl	бишофит			Mg^{2+}	K^+	SO_4^{2-}	Ca^{2+}
60	98,91	1,09	0	40,99	45,04	7,76	0,45	0,056	0,47
40	99,98	0	0,02	42,51	47,22	7,66	0,38	0,057	0,5
20	97,56	0	2,44	43,68	48,95	7,57	0,36	0,054	0,46

Как видно из табл. 3, с понижением конечной температуры охлаждения раствора (температуры фильтрации) увеличивается выход образующегося кристаллизата. С понижением конечной температуры охлаждения растворов происходит увеличение среднего размера частиц кристаллизата, что снижает захват маточного рассола. Учитывая, что концентрация маточного рассола по хлориду магния после выпарки достаточно высока, то в кристаллизат при сушке переходит бишофит, наличие которого в карналлите нежелательно. Увеличивается также выход кристаллизата до 43,68 % и степень конверсии хлорида магния до 48,95 %.

Для удаления остаточного $MgCl_2$ на поверхности кристаллов осадка их следует промыть карналлитовым щелоком, обогащенным KCl по сравнению с исходным щелоком. Примерный состав такого раствора – 20–25 % $MgCl_2$ и 4–6 % KCl, или еще ближе к стехиометрическому соотношению этих солей в карналлите (0,78). Тогда в осадке будет незначительная примесь сильвина и бишофита, аналитически аналогичная карналлиту и определяемая только физико-химическими методами. При дальнейшем нагревании – сушке и обезвоживании эти компоненты способны взаимодействовать между собой с образованием карналлита. Таким образом, как показали исследования, для получения карналлита из хлормagneйных щелоков можно предложить две технологические схемы.

Первая схема предполагает выпарку хлормagneйных рассолов до Ж : Т = 1:1 после добавления мелкокристаллического хлорида калия в соотношении KCl/ $MgCl_2$ = 0,39. Возврат остаточного

рассола с большим содержанием хлорида кальция после отделения его от кристаллического карналлита на стадию обессульфачивания. За счет возврата избыточного карналлитового щелока, содержащего около 1 % хлорида кальция, в начало процесса (на обессульфачивание) удастся снизить расход хлорида кальция. По такой схеме можно получить кристаллизат с содержанием 98,8 % карналлита и степенью извлечения хлорида магния из раствора 50 %. Полученный кристаллизат удовлетворяет требованиям на карналлит для получения металлического магния.

Вторая схема получения синтетического карналлита не предусматривает использование оборотных щелоков. Избыточную воду реакционной смеси удаляют выпариванием. Общая длительность процесса получения карналлита без оборотного щелока определяется содержанием свободной воды в реакционной смеси на стадии выпарки. К окончанию процесса продукт имеет рассыпчатую консистенцию при содержании общей воды 35–40 %.

Закключение. Процесс получения карналлита методом конверсии хлоридов калия и магния состоит из растворения кристаллов хлорида калия в концентрированном растворе хлорида магния, взаимодействия ионов калия и магния с ионами хлора с образованием и кристаллизацией карналлита. Взаимодействие ионов в растворе происходит с высокой скоростью, а скорость кристаллизации определяется скоростью создания пересыщения, таким образом, общая скорость процесса определяется скоростью растворения хлорида калия в хлормagneиевом растворе. Показано, что скорость растворения кристаллов хлорида калия в хлормagneиевом растворе зависит от размера частиц и концентрации хлорида магния. С уменьшением размера частиц хлорида калия и концентрации раствора хлорида магния скорость растворения возрастает. В концентрированном растворе хлорида магния растворение кристаллов хлорида калия тормозится за счет образования карналлита на его поверхности. Необходимо интенсивное перемешивание или разбавление суспензии с целью разрушения поверхностного слоя кристаллов карналлита для ускорения процесса растворения хлорида калия. Для получения синтетического карналлита можно использовать как раствор хлорида калия, так и кристаллический хлорид калия. Очередность операций имеет существенное значение для обеспечения максимальной величины конверсии и чистоты кристаллической фазы карналлита: целесообразно синтез карналлита проводить с использованием менее концентрированных хлормagneиевых растворов с последующим удалением воды из реакционной среды после внесения KCl. Это связано с низкой растворимостью хлорида калия в концентрированных растворах хлорида магния. Степень конверсии хлорида калия в хлормagneиевых растворах зависит от концентрации хлормagneиевого раствора, крупности частиц хлорида калия, интенсивности перемешивания, температуры процесса, соотношения количеств раствора и хлорида калия.

Список использованных источников

1. Позин, М. Е. Технология минеральных солей / М. Е. Позин. – Л.: Химия, 1970. – Ч.1. – 792 с.
2. Бурдин, И. В. Кинетика политермической кристаллизации карналлита / И. В. Бурдин, В. З. Пойлов // Вестн. Казан. технол. ун-та. – 2006. – № 3. – С. 13–19.
3. Ширев, М. Ю. Новая технология получения синтетического карналлита / М. Ю. Ширев, В. А. Лебедев // Изв. вузов. Цветная металлургия. – 2011. – № 6. – С. 25–30.

References

1. Pozin M. E. *Technology of mineral salts*. Part 1. Leningrad, Khimiya Publ., 1970. 792 p. (in Russian).
2. Burdin I. V., Poylov V. Z. Kinetics of polythermal crystallization of carnallite. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of Kazan Technological University*, 2006, no. 3, pp. 13–19 (in Russian).
3. Shirev M. Yu., Lebedev V. A. New process of synthetic carnallite production. *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya = Universities' Proceedings. Nonferrous Metallurgy*, 2011, no. 6, pp. 25–30 (in Russian).

Информация об авторах

Шевчук Вячеслав Владимирович – член-корреспондент, д-р хим. наук, зав. лаб. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: shevchukslava@rambler.ru

Поткина Татьяна Николаевна – канд. хим. наук, вед. науч. сотрудник. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: potkina@igic.bas-net.by

Войтенко Анатолий Иванович – науч. сотрудник. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: wotwot@mail.ru

Сметанина Ольга Васильевна – мл. науч. сотрудник. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: olia23@gmail.com

Information about the authors

Viacheslav V. Shevchuk – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, D. Sc. (Chemistry), Head of the Laboratory. 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: shevchukslava@rambler.ru

Tatyana N. Potkina – Ph. D. (Chemistry), 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: potkina@igic.bas-net.by

Anatoli I. Vaitenka – 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: wotwot@mail.ru

Olga V. Smetanina – Junior 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: olia23@gmail.com