

УДК 54.056:544.014:544.016

**А. И. Войтенко, А. А. Ратько, З. А. Готто, В. В. Шевчук**  
Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси

### ОДНОСТАДИЙНАЯ КОНВЕРСИЯ ХЛОРИДА КАЛИЯ СУЛЬФАТОМ АММОНИЯ

Реализован процесс получения сульфата калия из сульфата аммония и хлорида калия, который отличается от известных тем, что он осуществляется в одну стадию с получением, после промывки водой и сушки, сульфата калия, содержащего не менее 95%  $K_2SO_4$ . Процесс не требует приготовления промежуточных реагентов и растворов, осуществляется без нагрева или охлаждения. Для получения сульфата калия с высоким содержанием  $K_2SO_4$  важно, чтобы в начале процесса сульфат аммония был полностью растворен. Это исключает захват его твердых частиц в образующуюся кристаллическую фазу сульфата калия. Для достижения высокого содержания сульфата калия необходим также стехиометрический избыток хлорида калия относительно сульфата аммония не менее 1,6. В ходе растворения хлорида калия в растворе сульфата аммония основным фактором получения концентрированного сульфата калия является получение максимально чистых зародышей кристаллов сульфата калия.

Основными технологическими параметрами процесса являются: температура реакции – 15–25°C; массовое соотношение хлорид калия : вода, равное 2; время реакции хлорида калия с раствором сульфата аммония, в ходе которой кристаллизуется сульфат калия, – не более 30 мин; промывка готового продукта в течение 60 мин водой методом репульсации и затем на фильтре в количестве 100 и 10–15% от массы пульпы сульфата калия соответственно.

**Ключевые слова:** реакция конверсии, сульфат калия, сульфат аммония, хлорид калия.

**Для цитирования:** Войтенко А. И., Ратько А. А., Готто З. А., Шевчук В. В. Одностадийная конверсия хлорида калия сульфатом аммония // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, полимерное материаловедение. 2026. № 1 (301). С. 45–53.

DOI: 10.52065/2520-2669-2026-301-4.

**A. I. Vaitenka, A. A. Ratko, Z. A. Hotto, V. V. Shauchuck**

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

### SINGLE STAGE CONVERSION OF POTASSIUM CHLORIDE WITH AMMONIUM SULFATE

The process of obtaining potassium sulfate from ammonium sulfate and potassium chloride has been implemented, which differs from the known ones in that it is carried out in one stage with the production, after washing with water and drying, of potassium sulfate containing at least 95%  $K_2SO_4$ . The process does not require the preparation of intermediate reagents and solutions, and is carried out without heating or cooling. To obtain potassium sulfate with a high content of  $K_2SO_4$ , it is important that the ammonium sulfate is completely dissolved at the beginning of the process. This excludes the capture of its solid particles into the resulting crystalline phase of potassium sulfate. To achieve a high content of potassium sulfate, a stoichiometric excess of potassium chloride relative to ammonium sulfate of at least 1.6 is also required. During the dissolution of potassium chloride in an ammonium sulfate solution, the main factor in obtaining concentrated potassium sulfate is to obtain the purest possible nuclei of potassium sulfate crystals.

The main technological parameters of the process are: the reaction temperature is 15–25°C; the mass ratio of potassium chloride : water is 2; the reaction time of potassium chloride with the solution of ammonium sulfate, during which potassium sulfate crystallizes, is no more than 30 minutes; the finished product is washed for 60 minutes with water by repulping and then on a filter in the amount of 100 and 10–15% of the mass of the potassium sulfate pulp, respectively.

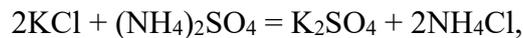
**Keywords:** conversion, potassium sulfate, ammonium sulfate, potassium chloride.

**For citation:** Vaitenka A. I., Ratko A. A., Hotto Z. A., Shauchuck V. V. Single stage conversion of potassium chloride with ammonium sulfate. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Polymer Materials Science*, 2026, no. 1 (301), pp. 45–53 (In Russian).

DOI: 10.52065/2520-2669-2026-301-4.

**Введение.** Широкое распространение в мире получили калийные и комплексные НРК-удобрения, в которых калий представлен в виде хлорида, так как природные месторождения хлорида калия значительно преобладают. Однако хлор отрицательно воздействует на некоторые культуры, такие как огурцы, перец, томат, картофель, лук, чеснок и др. В этой связи возникает необходимость получения бесхлорного удобрения. К таким удобрениям относится сульфат калия. В промышленности наиболее распространенными методами получения сульфата калия являются высокотемпературные (процесс Мангейма – путем разложения хлорида калия серной кислотой с выделением HCl; прокаливание природных минералов) и обменные реакции между хлоридом калия и сульфатами [1].

В патентной литературе имеется значительное количество материалов по конверсионному получению сульфата калия из сульфата аммония и хлорида калия в водной среде [2–12]. Также известны работы по получению сульфата калия в той же системе, но в присутствии реагентов – модификаторов процесса, применение которых позволяет увеличить выход сульфата калия за счет снижения растворимости сульфата калия, увеличения поля кристаллизации двойных сульфатов на диаграммах состояния и одновременно усложняет утилизацию образующихся маточных растворов [13]. Среди таких модификаторов известны ацетон, спирты, диметилформамид. Однако суть технологии в них общая: осуществляется двухстадийный процесс конверсии, включающий первоначальное получение двойной соли сульфата калия-аммония с весовым соотношением сульфатов калия и аммония, близким к 83 и 17 мас. %, что соответствует их стехиометрическому соотношению. Затем двойная соль подвергается дальнейшей конверсии путем обработки растворами хлорида или сульфата калия. Это связано с тем, что при исходном соотношении реагентов – хлорида калия и сульфата аммония, близком к стехиометрическому, согласно уравнению реакции:



состав равновесной жидкой фазы в конце процесса соответствует на пятикомпонентной диаграмме  $\text{K}^+, \text{NH}_4^+ \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{Cl}^- - \text{H}_2\text{O}$  при температуре 20°C зоне кристаллизации двойной соли такого состава – точке *E* (рис. 1) [14, 15].

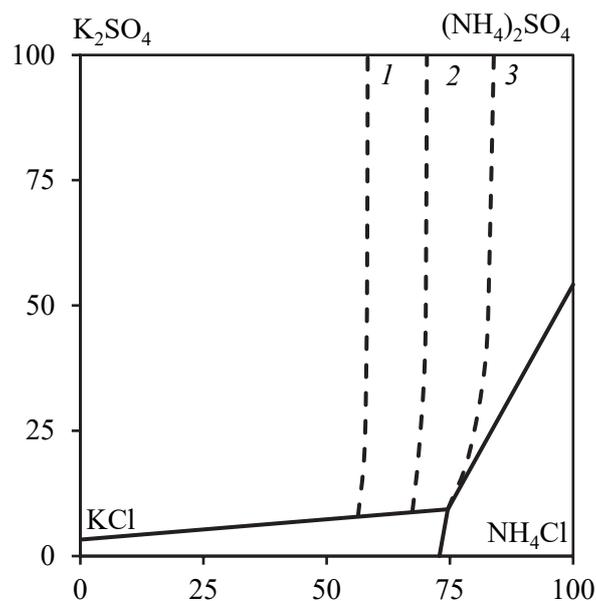


Рис. 1. Пятикомпонентная диаграмма  $\text{K}^+, \text{NH}_4^+ \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{Cl}^- - \text{H}_2\text{O}$ .  
Изолинии с указанным содержанием  $\text{K}_2\text{SO}_4$  в твердой фазе  
при данном составе раствора:  
1 – 95%; 2 – 92%; 3 – 83%

На диаграмме присутствует одно сплошное поле кристаллизации двойных сульфатов калия-аммония переменного состава  $m\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot n(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , однако смещение характеристической точки в нем левее соответствует повышению концентрации калия в твердой фазе, а правее – аммония. Поле кристаллизации  $\text{KCl}$  – снизу слева, поле кристаллизации  $\text{NH}_4\text{Cl}$  – снизу справа.

Содержание  $\text{K}_2\text{SO}_4$  в твердой фазе в зависимости от соотношения ионов калия и аммония в растворе иллюстрирует рис. 2.

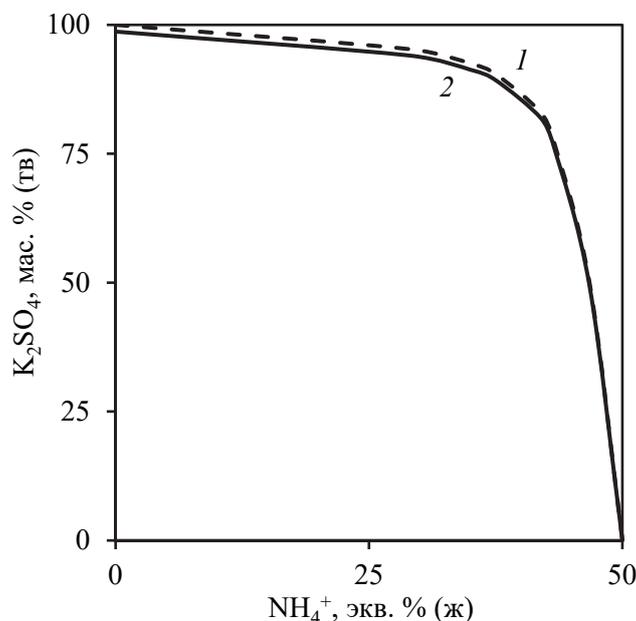


Рис. 2. Содержание  $\text{K}_2\text{SO}_4$  в твердой фазе в зависимости от соотношения ионов калия и аммония:  
1 – теоретическая кривая; 2 – экспериментальная кривая с учетом чистоты исходных реагентов

Близкое к стехиометрическому соотношение исходных солей позволяет получить максимальное количество продукта – двойного сульфата – за одну операцию. При этом достигается максимум извлечения калия в продукт. Однако практика дальнейшего кондиционирования двойной соли связана с затратами времени и применением разбавленных водных растворов солей калия (хлорида или сульфата), обработку которыми двойного сульфата калия-аммония ведут на второй стадии синтеза сульфата калия предпочтительно при пониженной температуре. При этом все равно не достигается содержание сульфата калия 95%: начальное высокое содержание аммония в двойной соли и длительность его отмывки исключают получение за ограниченный промежуток времени (1,0–1,5 ч) сульфата калия с содержанием основного вещества выше 92–93% ввиду того, что процесс замещения ионов аммония на ионы калия протекает по диффузионному механизму, что требует увеличения времени [5].

Однако нормативными документами определено более высокое содержание сульфата калия. По ГОСТ 4145–74 «Реактивы. Калий сернокислый. Технические условия» содержание сульфата калия составляет 97–99% (52,44–53,52%  $\text{K}_2\text{O}$ ). Продукт сульфата калия гранулированный Буйского химзавода содержит 50%  $\text{K}_2\text{O}$  (92,5%  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) из-за включения в состав карбоната кальция в качестве компонента для окатывания при получении гранул. Продукт сульфата калия ЗАО «Пикалевская сода» по ТУ 2184-005-89828654-2015 «Калий сернокислый. Технические условия» содержит не менее 51%  $\text{K}_2\text{O}$  (94,34%  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ). Поэтому в наших работах установлен предел содержания не менее 95%  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (51,35%  $\text{K}_2\text{O}$ ) для обеспечения конкурентоспособности продукта на рынке.

При получении сульфата калия из хлорида калия и сульфата аммония важны соотношение между исходными солями, которое должно быть избыточным по хлориду калия, и соотношение жидкой и твердой фаз в реакционном объеме. Получаемый в ходе конверсии щелок должен быть близок к насыщению по хлор-иону. В зависимости от требований по содержанию хлора в товарном сульфате калия в сыром непромытом сульфате калия допускается небольшой остаток KCl и, соответственно, содержание хлора на данном этапе 2–3%. Этот остаток способствует достижению высокой степени конверсии и легко удаляется в ходе последующей промывки, в отличие от остаточного сульфата аммония.

В связи с вышесказанным представляло интерес получить сульфат калия с более высоким содержанием основного вещества, минуя образование двойной соли, и тем самым по возможности исключить длительную и неэффективную отмывку сульфата аммония из двойной соли. Также подразумевался отказ от операций нагрева-охлаждения и реализация всей технологии при нормальных условиях.

**Основная часть. Цель работы:** получение сульфата калия чистотой не менее 95% по наиболее простой технологии.

**Методика эксперимента.** Для исследований были использованы доступные многотоннажные реагенты: сульфат аммония кристаллический – содержание основного вещества не менее 98,5%, хлорид калия галургический – содержание основного вещества не менее 98,5%, хлорид калия флотационный – содержание основного вещества не менее 95,0%.

Основным затруднением использования флотационного хлорида калия является его загрязненность как хлоридом натрия (до 3%), так и нерастворимыми примесями (до 1,5%). Если хлорид натрия в ходе конверсии переходит в жидкую фазу и не загрязняет основной продукт, то нерастворимые примеси скапливаются в твердой фазе. Использование флотационного хлорида калия ограничено также рыночными требованиями к сульфату калия – продукту традиционно белого цвета. Примеси флотационного хлорида калия ярко окрашены и частично передают свою характерную окраску продукту.

Эксперимент проводили следующим образом. В стакан помещали сульфат аммония, добавляли расчетное количество воды и перемешивали до полного растворения. Далее добавляли необходимое количество хлорида калия и снова перемешивали для получения твердого сульфата калия. После фильтрации осадок в течение 1 ч промывали водой методом репульсации в соотношении 1 : 1. Отфильтрованный отмытый сульфат калия дополнительно промывали на фильтре водой в количестве 10–15% от массы сырого осадка для удаления остатков хлора и аммония, содержащихся в промывном растворе. Результаты эксперимента представлены в табл. 1. Состав конверсионного продукта приведен в табл. 1 в пересчете на сухое вещество вместе с солями щелока, пропитывающего твердую фазу после фильтрования.

**Результаты.** Во всех опытах получаемый в начале раствор сульфата аммония является ненасыщенным – концентрация была 20,13–23,53%, в то время как концентрация насыщенного раствора при 0°C составляет 41,2%. Это исключает формирование зародышей сульфата аммония в качестве основы для новой кристаллической фазы сульфата калия. Перемешивание мелкокристаллического хлорида калия должно осуществляться при минимальной скорости, достаточной для удержания кристаллов хлорида калия во взвешенном состоянии. В поверхностном слое вблизи растворяющихся кристаллов KCl создается повышенная концентрация ионов калия, способствующая появлению более чистых по аммонийной зародышей кристаллов сульфата калия. Если же применить интенсивное перемешивание, то высокая концентрация аммония во всем растворе приведет к образованию сильнее загрязненных зародышей кристаллов. Из сульфата калия, полученного первым способом, на следующей стадии – промывке – будет эффективнее отмываться остаточный аммоний. Это имеет большое значение, потому что отмывка остаточного аммония, как уже отмечалось выше, продолжительна во времени и малоэффективна.

В табл. 1 и 2 представлены результаты экспериментов. Ввиду высокого содержания сульфата калия на диаграмме РФА (рис. 3) отсутствуют дополнительные соли. Поэтому в табл. 2 приведен расчетный солевой состав осадка. При взаимодействии в водной среде хлорида калия и сульфата аммония, в зависимости от конечного соотношения калия и аммония в жидкой фазе, в твердой фазе остается некоторое количество равновесного сульфата аммония. Также, поскольку реакция протекает при избытке хлорида калия, допуская, что остаточный хлор в готовом продукте представлен именно им.

Таблица 1. Качественные показатели сульфата калия, получаемого при конверсии хлорида калия сульфатом аммония в водной среде в одну стадию с промывкой водой

№ п/п	Конверсия хлорида калия сульфатом аммония					Промывка осадка сульфата калия водой			
	Избыток КСl от стехиометрического соотношения	Расход воды $m_{H_2O}/$ $m_{KCl}$	Содержание лимитируемых элементов до промывки в пересчете на безводный продукт, %			Время основной промывки, мин	Содержание лимитируемых элементов после промывки в пересчете на безводный продукт, %		
			K <sub>2</sub> O	N	Cl		K <sub>2</sub> O	Cl	N
1	1,55	2,0	48,6	2,3	2,1	60	50,6	0,15	1,3
2	1,60	1,8	49,0	2,2	3,6	60	50,9	0,24	1,2
3		2,0	48,8	2,1	2,4	30	50,4	0,10	1,4
4						60	51,4	0,07	1,0
5						90	51,5	0,07	1,0
6		2,2	48,6	2,2	1,3	60	50,9	0,07	1,2
7	1,65	2,0	48,9	1,9	3,4	60	51,4	0,23	1,0

Согласно данным табл. 1, наиболее оптимальным расходом хлорида калия является его избыток 1,6 от стехиометрической нормы при одинаковом расходе воды ( $m_{H_2O}/m_{KCl} = 2,0$ ). В этом случае содержание примесных компонентов является оптимальным – азота 2,1% против 2,3% (избыток 1,55) и 1,9% (избыток 1,65) и хлорид-иона 2,4% против 2,1% (избыток 1,55) и 3,4% (избыток 1,65). Учитывая незначительное остаточное количество хлорид-иона, следует признать, что основной примесью является сульфат аммония.

Таблица 2. Солевой состав готового продукта

№ п/п	Содержание солей в готовом продукте после промывки в пересчете на безводный продукт, %			
	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	KCl	Прочие
1	93,2	6,1	0,3	0,3
2	93,6	5,7	0,5	0,3
3	93,0	6,6	0,2	0,2
4	94,9	4,7	0,1	0,2
5	95,1	4,7	0,1	–
6	94,0	5,7	0,1	0,2
7	94,5	4,7	0,5	0,3

Повышение количества воды на стадии получения сульфата калия ведет к некоторому растворению готового продукта, что отчетливо видно после промывки осадка. После промывки в одинаковых условиях при расходе 1,8 и 2,2 воды содержание сульфата калия составило соответственно 93,6 и 94%, азота – 1,2%, а хлорид-иона – соответственно 0,24 и 0,07%. А при расходе воды, вдвое большем массы хлорида калия, содержание сульфата калия достигло 95,1% при содержании хлорид-иона 0,07%.

По мере растворения хлорида калия и осаждения сульфата калия в растворе накапливается хлорид аммония, который загрязняет осадок за счет диффузии в него ионов

аммония. Поэтому длительное перемешивание не улучшит качества получаемого осадка сульфата калия. Оптимальным является время 30–60 мин при температуре 15–25°C. Высокое качество получаемого продукта подтверждено данными химического анализа.

Время промывки сульфата калия методом репульпации также повлияло на состав осадка. Из данных табл. 1 следует, что 30 мин не достаточно для промывки осадка (содержание сульфата калия составило 93,2%). При перемешивании в течение 90 мин содержание примесных ионов осталось таким же, что при перемешивании на протяжении 60 мин. Следовательно, оптимальным временем промывки осадка методом репульпации является 60 мин.

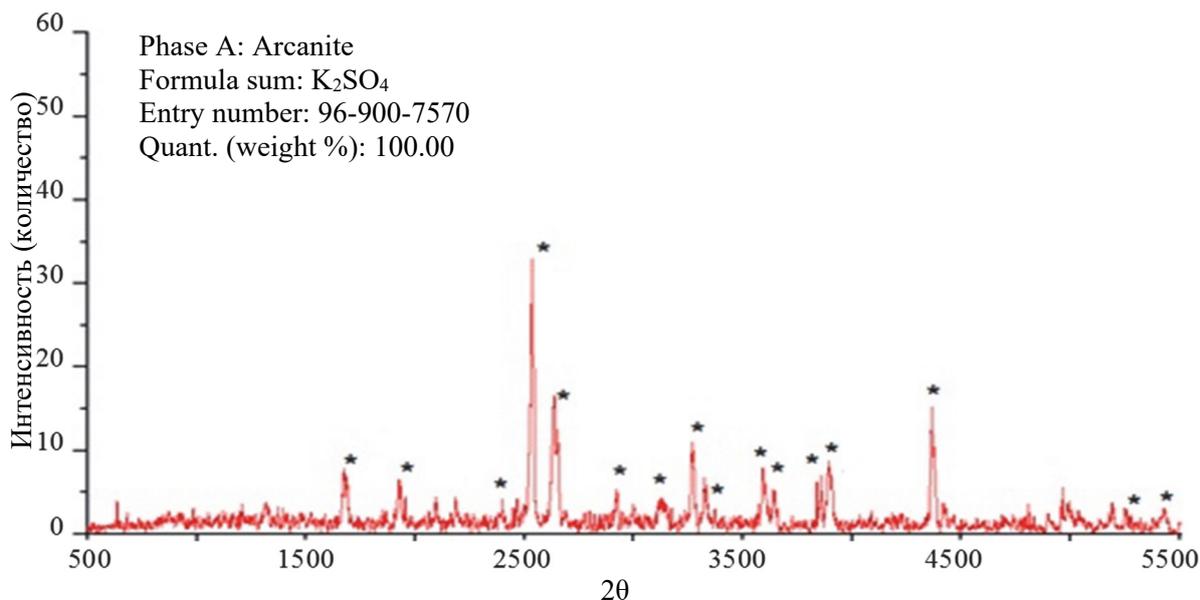


Рис. 3. Рентгенограмма сульфата калия

Маточник конверсии, содержащий значительные количества полезных элементов, возможно перерабатывать по известной выпарной технологии с получением комплексных хлорсодержащих удобрений N : K : S, а промывные воды использовать в начале процесса для приготовления раствора (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

**Заключение.** Таким образом, определены оптимальные режимы получения сульфата калия из сульфата аммония и хлорида калия:

- 1) приготовление раствора сульфата аммония. Оптимальный расход воды равен удвоенной массе хлорида калия;
- 2) использование мелкокристаллического галургического хлорида калия. Избыток его должен составлять 1,6 от стехиометрической нормы;
- 3) скорость перемешивания хлорида калия должна обеспечивать поддержание его во взвешенном состоянии и по мере растворения высокую концентрацию ионов калия в приграничном слое образующегося сульфата калия;
- 4) для завершения процессов конверсии промывку сульфата калия осуществлять методом репульпации в массовом соотношении осадок : вода, равном 1 : 1. Время перемешивания не менее 60 мин;
- 5) дополнительная промывка на фильтре водой в количестве 10–15% от веса влажного осадка для удаления остатков промывного раствора.

### Список литературы

1. Позин М. Е. Технология минеральных солей (удобрений, пестицидов, промышленных солей, окислов и кислот): в 2 ч. Л.: Химия, 1974. Ч. 1. 792 с.

2. Производство двойной соли сульфата калия – сульфата аммония: пат. US 2094573A / К. Дж. Якоби. Оpubл. 05.06.1935.
3. Способ получения сульфата калия: пат. JP 47-20457. Оpubл. 10.06.1972.
4. Способ получения сульфата калия: пат. ВУ 1469 / Л. К. Островский, Н. Н. Немогай, П. Ф. Калугин, В. И. Тимофеев, Т. И. Рутковская, Г. В. Осипова, Мисра Сатиатайи, Ю. С. Сафрыгин. Оpubл. 16.12.1996.
5. Способ получения сульфата калия: пат. RU 2144501 / Ю. С. Сафрыгин, Г. В. Осипова, Ю. В. Букша, В. И. Тимофеев, Т. И. Рутковская, А. М. Поликша, Е. В. Коноплев, В. Б. Махнев, Н. П. Фролов, И. А. Альжев. Оpubл. 20.01.2000.
6. Способ получения сульфата калия: пат. RU 2209768 / Ю. С. Сафрыгин, Г. В. Осипова, Ю. В. Букша, В. И. Тимофеев, Г. Ю. Выборнова. Оpubл. 10.08.2003.
7. Способ получения сульфата калия: пат. RU 2133220 / Ю. С. Сафрыгин, Г. В. Осипова, Ю. В. Букша, В. И. Тимофеев, Т. И. Рутковская, А. М. Поликша, Е. В. Коноплев, В. Б. Махнев, Н. П. Фролов, И. А. Альжев. Оpubл. 20.07.1999.
8. Способ получения сульфата калия: пат. RU 2166479 / Ю. С. Сафрыгин, Г. В. Осипова, Ю. В. Букша, В. И. Тимофеев, Т. И. Черепанова, А. М. Поликша, Е. В. Коноплев, В. А. Гнип, В. Б. Махнев, С. Я. Мацов, Н. П. Фролов, И. А. Альжев. Оpubл. 10.05.2001.
9. Способ получения сульфата калия: пат. RU 2166480 / Ю. С. Сафрыгин, Г. В. Осипова, Ю. В. Букша, В. И. Тимофеев, Т. И. Черепанова, А. М. Поликша, Е. В. Коноплев, В. А. Гнип, В. Б. Махнев, С. Я. Мацов, Н. П. Фролов, И. А. Альжев. Оpubл. 10.05.2001.
10. Способ получения сульфата калия: пат. СА 002758 / Р. Финни. Оpubл. 29.08.2002.
11. Способ получения сульфата калия: пат. RU 2167815 / Ю. С. Сафрыгин, Г. В. Осипова, Ю. В. Букша, В. И. Тимофеев, Т. И. Черепанова, А. М. Поликша, Е. В. Коноплев, В. А. Гнип, В. Б. Махнев, С. Я. Мацов, Н. П. Фролов, И. А. Альжев. Оpubл. 27.05.2001.
12. Способ получения сульфата калия и комплексного удобрения: пат. RU 2144000 / Ю. С. Сафрыгин, Г. В. Осипова, Ю. В. Букша, В. И. Тимофеев, Г. И. Терентьева, А. М. Поликша, А. А. Чистяков, Е. В. Коноплев, В. А. Гнип, В. Б. Махнев, Н. П. Фролов, И. А. Альжев. Оpubл. 10.01.2000.
13. Гончарик И. И., Александрович Х. М. Конверсия хлорида калия и сульфата аммония в присутствии мочевины // Химия и химическая технология: межведомственный сборник. 1989. Вып. 3. С. 28–32.
14. Кашкаров О. Д., Атаджанов А. Изотермы растворимости водной системы ( $K^+$ ,  $NH_4^+$ ) – ( $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ) –  $H_2O$  при  $25^\circ C$  // Изв. АН Туркм. ССР. Сер. физ.-тех., хим. и геол. наук. 1972. № 2. С. 113–118.
15. Викторов М. У. Графические расчеты в технологии неорганических веществ. Л.: Химия, 1972. 462 с.

## References

1. Pozin M. E. *Tekhnologiya mineral'nykh soley (udobreniy, pestitsidov, promyshlennykh soley, okislov i kislot)* [Technology of mineral salts (fertilizers, pesticides, industrial salts, oxides and acids)]: in 2 parts. Leningrad, Khimiya Publ., 1974. Part 1. 792 p. (In Russian).
2. Jacobi K. J. Production of potassium sulphate – ammonium sulphate double salt. Patent US 2094573A, 1935 (In Russian).
3. The method of obtaining potassium sulfate. Patent JP 47-20457, 1972 (In Japan).
4. Ostrovskiy L. K., Nemogay N. N., Kalugin P. F., Timofeev V. I., Rutkovskaya T. I., Osipova G. V., Misra Satiataji, Safrygin Yu. S. The method of obtaining potassium sulfate. Patent BY 1469, 1996 (In Russian).
5. Safrygin Yu. S., Osipova G. V., Buksha Yu. V., Timofeev V. I., Rutkovskaya T. I., Poliksha A. M., Konoplev E. V., Makhnev V. B., Frolov N. P., Al'zhev I. A. Method for producing potassium sulfate. Patent RU 2144501, 2000 (In Russian).

6. Safrygin Yu. S., Osipova G. V., Buksha Yu. V., Timofeev V. I., Vybornova G. Yu. Method for producing potassium sulfate. Patent RU 2209768, 2003 (In Russian).
7. Safrygin Yu. S., Osipova G. V., Buksha Yu. V., Timofeev V. I., Rutkovskaya T. I., Poliksha A. M., Konoplev E. V., Makhnev V. B., Frolov N. P., Al'zhev I. A. Method for producing potassium sulfate. Patent RU 2133220, 1999 (In Russian).
8. Safrygin Yu. S., Osipova G. V., Buksha Yu. V., Timofeev V. I., Cherepanova T. I., Poliksha A. M., Konoplev E. V., Gnip V. A., Makhnev V. B., Matsov S. Ya., Frolov N. P., Al'zhev I. A. Method for producing potassium sulfate. Patent RU 2166479, 2001 (In Russian).
9. Safrygin Yu. S., Osipova G. V., Buksha Yu. V., Timofeev V. I., Cherepanova T. I., Poliksha A. M., Konoplev E. V., Gnip V. A., Makhnev V. B., Matsov S. Ya., Frolov N. P., Al'zhev I. A. Method for producing potassium sulfate. Patent RU 2166480, 2001 (In Russian).
10. Finny R. Method for producing potassium sulfate. Patent CA 002758, 2002.
11. Safrygin Yu. S., Osipova G. V., Buksha Yu. V., Timofeev V. I., Cherepanova T. I., Poliksha A. M., Konoplev E. V., Gnip V. A., Makhnev V. B., Matsov S. Ya., Frolov N. P., Al'zhev I. A. Method for producing potassium sulfate. Patent RU 2167815, 2001 (In Russian).
12. Safrygin Yu. S., Osipova G. V., Buksha Yu. V., Timofeev V. I., Terent'eva G. I., Poliksha A. M., Chistyakov A. A., Konoplev E. V., Gnip V. A., Makhnev V. B., Frolov N. P., Al'zhev I. A. Method for producing potassium sulfate and complex fertilizer. Patent RU 2144000, 2000 (In Russian).
13. Goncharik I. I., Aleksandrovich H. M. Conversion of potassium chloride and ammonium sulfate in the presence of urea. *Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [Chemistry and chemical technology], 1989, issue 3, pp. 28–32 (In Russian).
14. Kashkarov O. D., Atadzhanov A. Isotherms of solubility of an aqueous system ( $K^+$ ,  $NH_4^+$ ) – ( $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ) –  $H_2O$  at 25°C. *Izvestiya Akademii nauk Turkmenskoy SSR. Seriya fiziko-tekhnicheskikh, khimicheskikh i geologicheskikh nauk* [Izvestiya of the Academy of Sciences of the Turkmen SSR. Ser. physico-technical, chemical and geological sciences], 1972, no. 2, pp. 113–118 (In Russian).
15. Viktorov M. U. *Graficheskiye raschety v tekhnologii neorganicheskikh veshchestv* [Graphical calculations in the technology of inorganic substances]. Leningrad, Khimiya Publ., 1972. 462 p. (In Russian).

### Информация об авторах

**Войтенко Анатолий Иванович** – старший научный сотрудник лаборатории минеральных удобрений. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: wotwot@mail.ru. ORCID: 0000-0002-7086-8660.

**Ратько Александр Анатольевич** – кандидат химических наук, заместитель директора по научной и инновационной работе. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: aratko@gmail.com. ORCID: 0009-0001-8318-3353.

**Готто Земфира Акифовна** – научный сотрудник лаборатории минеральных удобрений. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: zima.gotto@bk.ru. ORCID: 0000-0003-1840-134X.

**Шевчук Вячеслав Владимирович** – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор химических наук, заведующий лабораторией минеральных удобрений. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: shevchukslava@rambler.ru. ORCID: 0000-0002-0516-1765.

**Information about the authors**

**Vaitenka Anatoli Ivanovich** – Senior Researcher, the Laboratory of Mineral Fertilizers. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1 Surganova str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: wotwot@mail.ru. ORCID: 0000-0002-7086-8660.

**Ratko Alexander Anatol'yevich** – PhD (Chemistry), Deputy Direktor for Science and Innovations. Institute of General and Inorganic Chemistry of National Academy of Sciences of Belarus (9/1 Surganova str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: aratko@gmail.com. ORCID: 0009-0001-8318-3353.

**Hotto Zemfira Akifovna** – researcher, the Laboratory of Mineral Fertilizers. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1 Surganova str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: zima.gotto@bk.ru. ORCID: 0000-0003-1840-134X.

**Shauchuck Vyacheslav Vladimirovich** – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc (Chemistry), Head of the Laboratory of Mineral Fertilizers. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1 Surganova str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shevchukslava@rambler.ru. ORCID: 0000-0002-0516-1765.

*Поступила 08.05.2025*