

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ
INORGANIC CHEMISTRYУДК 541.123.3
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2025-61-4-286-293>Поступила в редакцию 05.07.2023
Received 05.07.2023**Ф. Э. Умиров¹, О. Б. Дормешкин², Г. Р. Номозова¹, С. Ш. Шарипов¹, С. Х. Кенжаева²**¹Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Узбекистан²Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИТЕРМ РАСТВОРИМОСТИ КОМПОНЕНТОВ
СИСТЕМЫ ГИПОХЛОРИТ НАТРИЯ–ХЛОРИД КАЛИЯ–ВОДА**

Аннотация. Представлены результаты изучения растворимости компонентов системы гипохлорит натрия–хлорид калия–вода в диапазонах температур от –22,8 до 60,0 °С с использованием визуально-политермического метода. На диаграмме растворимости, построенной по экспериментальным данным, разграничены поля кристаллизации льда, $\text{KCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$, KCl ; $\text{NaClO} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; $\text{NaClO} \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$, а также нового соединения – KClO_3 . Указанные поля сходятся в пяти тройных невариантных точках совместного существования трех различных твердых фаз. Для указанных фигуративных точек определены составы равновесного раствора и соответствующие им температуры кристаллизации. В результате изучения системы хлорид калия–гипохлорит натрия–вода установлено образование хлората калия, который выделен индивидуально и идентифицирован методами химического и физико-химического анализа. Определены температурные и концентрационные пределы выделения KClO_3 . Образующееся путем взаимодействия исходных компонентов соединение KClO_3 менее растворимо в данной системе относительно других его компонентов и поле его кристаллизации занимает значительную часть диаграммы. Результаты являются теоретической основой создания технологии получения хлората калия с использованием техногенных отходов химического производства.

Ключевые слова: хлорат калия, политермический метод, трехкомпонентная система, диаграмма растворимости, поле кристаллизации, техногенный отход, гипохлорит натрия, хлорид калия

Для цитирования. Исследование политерм растворимости компонентов системы гипохлорит–хлорид калия–вода / Ф. Э. Умиров, О. Б. Дормешкин, Г. Р. Номозова [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сэрыя хімічных навук. – 2025. – Т. 61, № 4. – С. 286–293. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2025-61-4-286-293>

F. E. Umirov¹, O. B. Dormeshkin², G. R. Nomozova¹, S. Sh. Sharipov¹, S. K. Kenjayeva²¹Navoi State University of Mining and Technology, Navoi, Uzbekistan²Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus**INVESTIGATION OF POLYTHERM SOLUBILITY OF SYSTEM COMPONENTS
SODIUM HYPOCHLORITE–POTASSIUM CHLORIDE–WATER**

Abstract. The results of studying the solubility in the system of sodium hypochlorite–potassium chloride–water in the temperature ranges from –22.8 to 60.0 °C using the visual-polythermal method are presented. On the solubility diagram constructed from experimental data, the fields of ice crystallization, $\text{KCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$, KCl are delineated; $\text{NaClO} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; $\text{NaClO} \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$, as well as KClO_3 . These fields converge at five triple invariant points of coexistence of three different solid phases. For these figurative points, the compositions of the equilibrium solution and the corresponding crystallization temperatures are determined. As a result of the study of the potassium chloride–sodium hypochlorite–water system, the formation of a new compound – potassium chlorate was established, which was identified by chemical and physicochemical analytical methods. The temperature and concentration limits of KClO_3 release were determined. The compound KClO_3 formed by the interaction of the initial components is less soluble in this system relative to its other components and the field of its crystallization occupies a significant part of the diagram. The results will serve as the theoretical basis for the creation of a new technology for the production of potassium chlorate using industrial wastes from chemical production.

Keywords: potassium chlorate, polythermal method, three-component system, solubility diagram, crystallization field, industrial wastes, sodium hypochlorite, potassium chloride

For citations. Umirov F. E., Dormeshkin O. B., Nomozova G. R., Sharipov S. Sh., Kenjayeva S. K. Investigation of polytherm solubility of system components sodium hypochlorite–potassium chloride–water. *Vesti Natsyonal'noi akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk* = *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2025, vol. 61, no. 4, pp. 286–293 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2025-61-4-286-293>

Введение. Одним из главных направлений развития химического комплекса Республики Узбекистан является освоение и вовлечение в промышленную переработку огромных запасов минеральных ресурсов, их комплексное использование и создание конкурентоспособных импортозамещающих продуктов на базе местных сырьевых ресурсов, а также создание новых видов химической продукции для успешного развития экономического сектора страны [1–5].

К важнейшим химическим продуктам относятся хлораты калия, натрия, магния и кальция, потребность в которых растет вследствие их применения как промежуточного продукта при создании многих видов продукции для различных отраслей народного хозяйства [6–10]. Хлорат калия (бертолетова соль) является одним из наиболее распространенных окислителей и широко применяется в качестве одной из основных составляющих в производстве спичечной, анилиноокрасочной и фармацевтической продукции, пестицидов взрывчатых веществ и пиротехнике, а также для травления металлов, получения кислорода, в деревообрабатывающей и химической промышленности [10–13]. Причина популярности этой соли – невысокая стоимость и доступность.

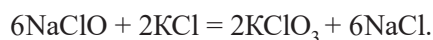
Однако, несмотря на высокую востребованность со стороны отечественных потребителей и наличие значительных запасов сырьевых ресурсов для производства хлората калия, до настоящего времени ни одно химическое предприятие республики его не выпускает.

Как известно, при производстве каустической соды в АО «Навоиазот» образуется в год 10 000 т гипохлорита натрия, более 20 000 т хлора и больше 12 000 т хлороводорода. В настоящее время это вторичное сырье используется не в полном объеме. Организация его переработки с получением хлората калия позволит одновременно решить экологическую проблему и получить дешевую продукцию на основе техногенных отходов производства каустической соды [14–17].

Необходимо отметить, что данная задача актуальна не только для Узбекистана, но и для других стран, имеющих аналогичные производства калийсодержащих продуктов. Так, в Республике Беларусь (ОАО «Беларуськалий») в качестве техногенного отхода образуется значительное количество гипохлорита натрия (до 10 000 т в год с содержанием основного вещества 15–17 %).

Современные методы получения хлората калия заключаются в термическом разложении гипохлоритов либо электролизе растворов хлоридов натрия [18–21]. Основным фактором, обеспечивающим высокую скорость образования хлората из гипохлорита, являются значения pH среды, близкие к нейтральным. В отличие от прежних взглядов, согласно которым стремились создать кислую среду, последующими исследованиями установлено, что максимальная скорость образования хлората наблюдается при pH раствора 7–7,4 [11]. Для производства бертолетовой соли применяются также каустический и содовый методы. Отметим, что хлорат калия можно получить хлорированием MgO , ZnO , K_2CO_3 , CaCO_3 .

В основе технологии получения хлората калия на большинстве предприятий выступает процесс обменного разложения гипохлорита натрия с твердым хлористым калием:



Проведение вышеуказанной обменной реакции имеет множество преимуществ, особенно если хлористый калий загрязнен примесями [22], в связи с чем получение хлората калия конверсионным методом, по нашему мнению, является наиболее целесообразным направлением переработки крупнотоннажного отхода производства каустической соды – гипохлорита натрия.

В основе технологического процесса лежат химические и физико-химические превращения в многокомпонентной водно-солевой системе $\text{NaClO-KCl-H}_2\text{O}$ в широком температурном интервале. Однако, как показал анализ литературы [14–16], системные данные по растворимости в указанной системе и взаимодействию между хлоридом калия и гипохлоритом натрия при их совместном присутствии в водных растворах в широком интервале варьирования температур и концентраций компонентов, которые могли являться основой разработки технологии, отсутствуют.

В связи с изложенным целью исследования явилось изучение растворимости в системе $\text{NaClO-KCl-H}_2\text{O}$ визуально-политермическим методом в широком интервале температур от $-22,8$ до $60,0$ °C.

Методика эксперимента и методы исследования. Изучение растворимости в многокомпонентной водно-солевой системе $\text{NaClO-KCl-H}_2\text{O}$ в указанном выше интервале температур

с целью обоснования процесса получения хлората калия на ее основе проводили по общепринятым методикам, согласно которым для получения достаточно полной картины состояния водно-солевой системы при заданной температуре необходимо определить состав растворов в эвтонических точках исследуемой системы при этой температуре [23, 24].

Эксперименты выполняли на установке, представляющей собой герметичный реактор с перемешивающим устройством, термостатируемый при заданной температуре. Поддержание температурного режима осуществляли с использованием термостата жидкостного модели 50К-15/0.05 (Беларусь). Точность регулирования – $\pm 0,05$ °C. В ходе исследований использовали хлорид калия и гипохлорит натрия марки «х. ч.». Для получения достоверных результатов процесс проводили параллельно. Оценку погрешности устанавливали путем составления баланса количества молей катионов и анионов в жидкой фазе. Разность между суммой анионов и катионов не превышала 0,7–4 %.

Для определения количественных характеристик жидкую и твердую фазы анализировали на содержание хлорид-иона, калия и натрия стандартными методами. Содержание калия и натрия выявляли методом пламенной фотометрии [25]. Объемный метод определения хлоридов (метод Мора) основан на осаждении хлора азотнокислым серебром в присутствии индикатора хромовокислого калия [26, 27]. Анализ хлорат-ионов проведен потенциометрическим методом, основанным на взаимодействии их с восстановителями [26]. Допустимые расхождения между параллельными определениями, согласно требованиям, не превышали 0,3 абс.%. Дополнительная промывка твердой фазы перед проведением анализов не осуществлялась.

Идентификацию соединений и установление природы фаз выполняли рентгенофазовым методом и методом ИК-спектроскопии. ИК-спектроскопический анализ проводили на спектрометре Irtacer 100 (Shimadzu, Япония) в области частот $400\text{--}4\,000\text{ см}^{-1}$ согласно имеющейся методике [27]. Рентгенофазовый анализ образцов выполнен на рентгеновском дифрактометре ДРОН-УМ1. Межплоскостное расстояние рассчитывалось по закону Вульфа–Брегга.

Результаты и их обсуждение. Система гипохлорит натрия–хлорид калия–вода изучена в диапазонах температур от $-22,8$ до $60,0$ °C с помощью шести внутренних разрезов (рис. 1). Разрезы I–IV проведены со стороны $\text{NaClO}\text{--}\text{H}_2\text{O}$ к полюсу $\text{KCl}\text{--}\text{H}_2\text{O}$, а V и VI – со стороны $\text{KCl}\text{--}\text{H}_2\text{O}$ к вершине $\text{NaClO}\text{--}\text{H}_2\text{O}$. На основании политейм боковых бинарных систем и внутренних разрезов построена политеймическая диаграмма растворимости системы гипохлорит натрия–хлорид калия–вода, на которой разграничены поля кристаллизации льда, $\text{KCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$, KCl ; $\text{NaClO} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; $\text{NaClO} \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$, а также KClO_3 .

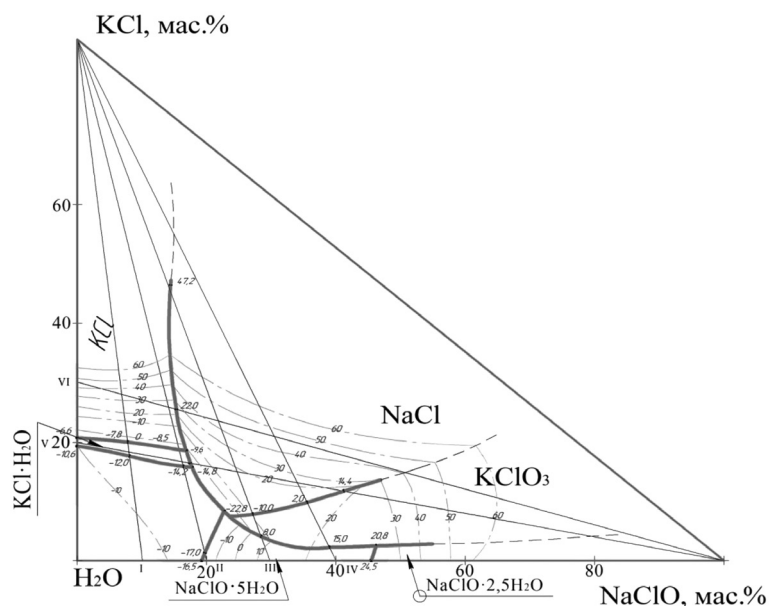


Рис. 1. Политеймическая диаграмма растворимости в системе гипохлорит натрия–хлорид калия–вода

Fig. 1. Polythermal diagram of solubility of the potassium chloride–sodium hypochlorite–water system

Указанные поля сходятся в пяти тройных неинвариантных точках совместного существования трех различных твердых фаз. Для этих точек определены составы равновесного раствора и соответствующие им температуры кристаллизации (табл. 1). На диаграмме растворимости системы при температуре 47,2 °С и выше границы фазовых областей показаны пунктирными линиями, поскольку при высоких температурах вследствие испарения воды возростала погрешность измерения (см. рис. 1). Поскольку используемое сырье (гипохлорит натрия–хлорид калия) в растворе имеет щелочную среду, молекулярный хлор в газовую фазу не выделялся. В литературе имеются сведения, подтверждающие возможность образования $KCl \cdot H_2O$, а детальное изучение области его образования является предметом дальнейшего исследования [27].

На политермической диаграмме, как отмечено ранее, через каждые интервалы температур по 10 °С нанесены изотермы растворимости. Построена проекция политермической кривой растворимости на боковые водные стороны системы. Поле кристаллизации соединения $KClO_3$, образованного взаимодействием исходных компонентов, как видно на рис. 1, занимает значительную часть диаграммы. По занимаемой площади кристаллизации можно судить о том, что это соединение $KClO_3$ менее растворимо в данной системе относительно других его компонентов.

Таким образом, анализ диаграммы растворимости в системе гипохлорит натрия–хлорид калия–вода, построенной по экспериментальным данным, позволил установить температурные и концентрационные пределы выделения соединения $KClO_3$, идентифицированного как химическим, так и рентгенографическим, а также ИК-спектроскопическим и масс-спектроскопическим методами анализов, результаты которых представлены на рис. 2 и 3, в табл. 2. В частности, химический анализ твердой фазы, выделенной из области кристаллизации предполагаемого соединения $KClO_3$, показал следующие результаты, мас. %: K^+ – 30,97; ClO_3^- – 67,11, H_2O – 1,92. Химический состав $KClO_3$, вычисленный теоретически, имел близкие к экспериментальным результаты, мас. %: K^+ – 31,83, ClO_3^- – 68,16.

ИК-спектроскопия является одним из методов, применяемых для качественного определения структуры и идентификации соединений. В связи с этим для выяснения типов химической связи, места и способа координации исходных молекул $NaClO$ и KCl , а также выделенных в твердом виде соединений, сняты ИК-спектры $KClO_3$ и составляющих систему компонентов (см. рис. 2).

В ИК-спектрах $NaClO$ (гипохлорита натрия) наблюдается полоса поглощения в области 3 200–3 650 cm^{-1} , которая относится к деформационным колебаниям кристаллизационной воды и гипохлорита натрия (3 626 cm^{-1}). Деформационные колебания воды отмечены в области 1 633 cm^{-1} . Характерные полосы для $NaClO$ наблюдаются в области 3 630 cm^{-1} , симметричные валентные колебания $[ClO^-]$ ионов и ее антисимметричные валентные колебания наблюдаются при 671–700 cm^{-1} (рис. 2, б). Полученные результаты подтверждают образование $[ClO_3^-]$. В спектрах

Т а б л и ц а 1. Эвтонические точки системы гипохлорит натрия–хлорид калия–вода

Table 1. Eutonic points of the sodium hypochlorite–potassium–chloride–water system

Состав жидкой фазы, %			Температура кристаллизации, °С	Твердая фаза
NaClO	KCl	H ₂ O		
19,2	–	80,8	–16,5	Лед + NaClO · 5H ₂ O
19,8	1,8	78,4	–17,0	Лед + NaClO · 5H ₂ O
22,8	8,8	68,4	–22,8	Лед + NaClO · 5H ₂ O + NaCl
18,8	15,8	65,5	–14,8	Лед + KCl · H ₂ O + NaCl
16,5	16,0	67,5	–14,2	Лед + KCl · H ₂ O
8,0	17,8	74,2	–12,0	Лед + KCl · H ₂ O
–	19,2	80,8	–10,6	Лед + KCl · H ₂ O
–	23,0	77,0	–6,6	KCl + KCl · H ₂ O
8,0	20,0	72,0	–7,8	KCl · H ₂ O + KCl
15,8	19,0	65,2	–8,5	KCl · H ₂ O + KCl
16,9	18,8	64,3	–9,6	NaCl + KCl · H ₂ O
15,6	25,7	58,7	–22,0	NaCl + KCl
15,2	47,1	37,7	47,2	NaCl + KCl
23,9	7,8	61,3	–12,4	NaClO · 5H ₂ O + NaCl + KClO ₃
27,1	8,0	64,9	–10,0	NaCl + KCl
28,5	4,1	67,4	8,0	NaClO · 5H ₂ O + KClO ₃
35,1	10,0	54,9	2,0	NaCl + KClO ₃
38,9	2,5	58,6	15,0	NaClO · 5H ₂ O + KClO ₃
41,0	12,0	47,0	14,4	NaCl + KClO ₃
45,1	2,8	52,1	20,8	NaClO · 5H ₂ O + NaClO · 2,5H ₂ O + KClO ₃
45,2	–	54,8	24,5	NaClO · 5H ₂ O + NaClO · 2,5H ₂ O

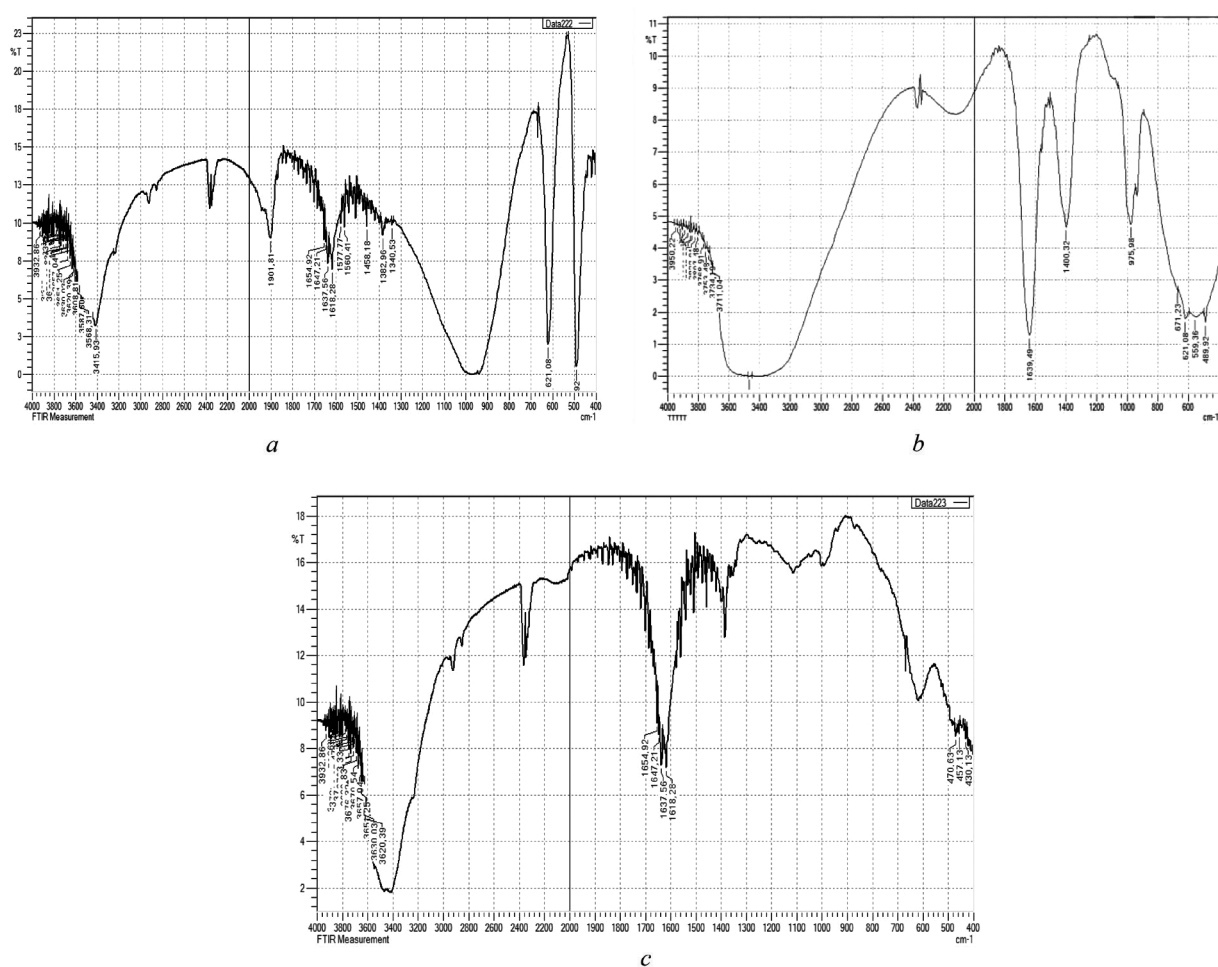


Рис. 2. ИК-спектры KClO₃ (a), NaClO (b), NaCl (c)

Fig. 2. IR spectra of KClO₃ (a), NaClO (b), NaCl (c)

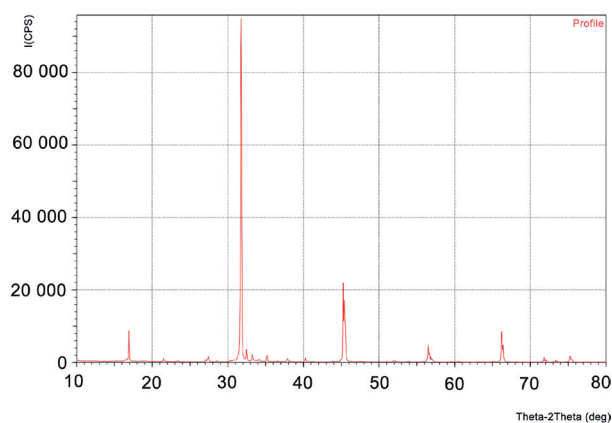


Рис. 3. Рентгенограмма KClO₃

Fig. 3. X-ray diffractogram of KClO₃

[ClO₃]⁻ ионов наблюдаются полосы поглощения в области 991,4; 964,4; 937; 790,8; 624,9 и 482,2 см⁻¹. Полосы 991,4; 964,4 и 937 см⁻¹ относятся к симметричным валентным колебаниям [ClO₃]⁻ (рис. 2, a). Ее деформационное колебание – 482,2 см⁻¹, при 624,9 см⁻¹ является антисимметричным деформационным колебанием, которое согласуется с литературными данными [27, 28].

Полоса поглощения для HCl в ИК-спектрах появляется в интервале 2 900–2 400 см⁻¹ и она наблюдается в спектрах KCl + NaClO, а также KCl + NaClO + HCl. Таким образом, данные ИК-спектроскопического анализа подтверждают образование соединения KClO₃ в системе гипохлорит натрия–хлорид калия–вода.

Для дополнительной идентификации образования хлората калия выполнен рентгенофазовый анализ. Идентификация фазового состава осуществлялась в соответствии с картотеккой ASTM. Рентгенографические исследования показали, что основные рефлексы на дифрактограмме соединения отвечают хлорату калия (рис. 3).

Таблица 2. ИК-спектры опытных образцов

Table 2. IR spectra of the prototypes

Образец	$\nu\text{H}_2\text{O}^{-2}\text{ см}^{-1}$	$\delta\text{H}_3\text{O}^{+}\text{ см}^{-1}$	$\nu\text{ClO}\text{ см}^{-1}$	$\delta\text{ClO}\text{ см}^{-1}$	$\nu\text{ClO}_3\text{ см}^{-1}$	$\delta\text{ClO}_3\text{ см}^{-1}$	$\text{HCl}\text{ см}^{-1}$
NaClO	3 600	1 639	3 420	1 400	—	—	—
KClO ₃	3 532	1 654	3 450	1 380	1 000–920	621	—
KCl + NaClO	3 587	1 618	3 410	1 391	960–940	620–486	2 920
KCl + NaClO + HCl	3 580	1 637	3 400	1 220	930	620	2 920

Заключение. В результате выполненного комплекса исследований впервые изучена растворимость в системе гипохлорит натрия–хлорид калия–вода в диапазонах температур от –22,8 до 60,0 °С с использованием визуально-политермического метода. На диаграмме растворимости, построенной по экспериментальным данным, разграничены поля кристаллизации льда, KCl · H₂O, KCl; NaClO · 5H₂O; NaClO · 2,5H₂O, а также KClO₃. Указанные поля сходятся в пяти тройных невариантных точках совместного существования трех различных твердых фаз. Для указанных фигуративных точек определены составы равновесного раствора и соответствующие им температуры кристаллизации.

В результате изучения системы гипохлорит натрия–хлорид калия–вода установлено образование хлората калия, которое выделено индивидуально и идентифицировано методами химического и физико-химического анализов. Определены температурные и концентрационные пределы выделения KClO₃. Образующееся путем взаимодействия исходных компонентов соединение KClO₃ менее растворимо в данной системе относительно других его компонентов и поле его кристаллизации занимает значительную часть диаграммы.

Соединение KClO₃ представляет собой белое кристаллическое вещество, инконгруэнтно растворимое в воде. Соединение хорошо растворимо в воде при температуре 25 °С – 86 г/л, удельная масса – 2,18 г/см³. Данные химического анализа экспериментально полученных образцов хлората калия подтвердили их идентичность теоретическому составу чистого KClO₃.

Полученные результаты исследования системы гипохлорит натрия–хлорид калия–вода выступают теоретической основой создания новой технологии получения хлората калия с использованием техногенных отходов химического производства.

Список использованных источников

1. Умиров, Ф. Э. Физико-химические свойства и агрохимическая эффективность новых дефолиантов на основе хлоратов натрия, магния и кальция, содержащих ПАВ / Ф. Э. Умиров, Г. Р. Номозова, Ж. М. Шодикулов // *Universum: химия и биология*. – 2021. – № 1 (79). – С. 33–35.
2. Умиров, Ф. Э. Получение дефолианта на основе хлоратов и органических соединений / Ф. Э. Умиров. – Бухара : Дурдона, 2019. – 139 с.
3. Тешаев, Ш. Получение дефолианта на основе хлоратов и органических соединений / Ш. Тешаев // *Ўзбекистон кишлоқ хўжалиги журналі*. – 2006. – № 1. – С. 14.
4. Girenko, D. V. Potentiometric Determination of Chlorate Impurities in Hypochlorite Solutions / D. V. Girenko, A. A. Gurenko, N. V. Nikolenko // *International Journal of Analytical Chemistry*. – 2019. – Vol. 2. <https://doi.org/10.1155/2019/2360420>
5. Тоғашаров, А. С. Новые дефолианты на основе хлоратов и техногенных отходов хлопкоочистительных заводов / А. С. Тоғашаров, Ж. С. Шукуров, С. Тухтаев. – Навруз, 2019. – 156 с.
6. Raghavendra T. Efficacy of Defoliant on Yield and Fibre Quality of American Cotton in Semi-Arid Conditions / T. Raghavendra, Y. Rama Reddy // *Indian Journal of Agricultural Research*. – 2020. – Vol. 54. – P. 404–407. <https://doi.org/10.18805/IJAR.A-5288>
7. Исследование процесса получения дефолианта трикарбамидохлорат натрия, содержащих поверхностно-активные вещества / Ф. Э. Умиров, Б. С. Закиров, Г. Р. Номозова, Ф. И. Худойбердиев // *Наманган давлат университети илмий ахборотномаси*. – 2019. – № 3. – С. 46–49.
8. Комплекснодействующие дефолианты, обладающие физиологически активными и инсектицидными свойствами / Ж. С. Шукуров, А. С. Тоғашаров, М. К. Аскарова [и др.]. – Навруз, 2019. – 136 с.
9. Effect of some insecticides alone and in combination with salicylic acid against aphid, *Aphis gossypii*, and whitefly *Bemisia tabaci* on the cotton field / A. E-H. E-D. El-Sherbeni, M. S. Khaleid, S. A. E. A. AbdAllah [et al.] // *Bulletin of the National Research Centre*. – 2019. – Vol. 43, № 1. – P. 57. <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0103-0>
10. Boyd, C. E. Solubility and Chemical Equilibrium / C. E. Boyd // *Water quality*. – Springer, Cham, 2020. – P. 65–82. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23335-8_4
11. Получение хлоратсодержащих дефолиантов, обладающих инсектицидными свойствами / З. Х. Адиллов, Д. А. Эргашев, Р. Р. Тожиев, Ш. Ш. Хамдамова. – Фергана ; Винница : Европ. науч. платформа, 2021. – 133 с. <https://doi.org/10.36074/ad-er-to-kha.monograph>

12. Synthesis and crystal structure of magnesium chloride dihydrate and chlorate hexahydrate / K. Kossev, L. Tsvetanova, L. Dimova [et al.] // *Bulgarian Chemical Communications*. – 2013. – № 4. – P. 543.
13. Хамдамова, Ш. Ш. Изучение процесса получения жидкого дефолианта на основе хлората кальция, карбамида и этиленпроцентов / Ш. Ш. Хамдамова // *Universum: технические науки*. – 2019. – № 10–2 (67). – URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/7938> (дата обращения: 02.08.2024).
14. Якименко, Л. Н. Справочник по производству хлора, каустической соды и основных хлор продуктов / Л. Н. Якименко, М. И. Пасманник. – М. : Химия, 1976. – 440 с.
15. Умиров, Ф. Э. Получение хлората натрия на основе гидрохлорида натрия производства каустической соды / Ф. Э. Умиров, Г. Р. Номозова // *Наманган давлат университети илмий ахборотномаси*. – 2021. – № 5. – С. 88.
16. Umirov, F. E. Solubility Diagram of the Sodium Hypochlorite–Sodium Chloride–Water System / F. E. Umirov, G. R. Nomozova, Zh. M. Shodikulov // *Russian Journal of Inorganic Chemistry*. – 2022. – Vol. 67. – P. 514–518. <https://doi.org/10.1134/s0036023622040209>
17. Хамдамова, Ш. Разработка технологии получения хлорат кальциевого дефолианта с использованием промышленных отходов / Ш. Хамдамова, М. Аскарова, С. Тухтаев // *International Scientific Review*. – 2017. – № 4 (35). – С. 14.
18. Авторское свидетельство СССР 1143691, МПК С 01 F 11/24; А 01 N 59/08. Способ получения хлорат-хлорид кальциевого дефолианта : № 3620951/23-26 : заявлено 23.05.83 : опуб. 07.03.85 / Набиев М. Н., Шаммасов Р., Тухтаев С., Кучаров Х., Мусаев Н. Ю., Алимова Г. А. – URL: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0001143691_19850307_A1_SU (дата обращения: 02.08.2024).
19. Растворимость компонентов в водной системе уксусная кислота–моноэтанолламин / Ж. С. Шукуров, Э. С. Хусанов, М. Ш. Мухитдинова, А. С. Тогашаров // *Журнал неорганической химии*. – 2021. – Т. 66, № 6. – С. 807–813. <https://doi.org/10.31857/s0044457x21060179>
20. The solubility of the $\text{NaClO}_3\text{--CO}(\text{NH}_2)_2\text{--N}(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})_3\text{--HNO}_3\text{--H}_2\text{O}$ system / A. A. Sidikov, A. S. Toghasharov, J. S. Shukurov, S. Tukhtaev // *International journal of advanced research in science, engineering and technology*. – 2020. – Vol. 7, № 5. – P. 13869–13875.
21. Умиров, Ф. Э. Исследование процесса получения хлоратно-магниевых дефолиантов на основе серпентита Арватенского месторождения / Ф. Э. Умиров, Ж. М. Шодикулов, У. Ф. Умиров // *Путь науки*. – 2020. – № 10 (80). – С. 19.
22. Недома, И. Расшифровка рентгенограмм порошков / И. Недома. – М. : Металлургия, 1975. – 424 с.
23. Пособие к практическим занятиям по физико-химическому анализу. Водно-солевые системы и некоторые приемы изучения равновесий и превращения фаз / В. Я. Аносов, М. И. Озерова, Н. П. Бурмистрова, А. П. Щедрина. – Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1969. – 90 с.
24. Перельман, Ф. М. Изображение химических систем с любым числом компонентов / Ф. М. Перельман. – М. : Наука, 1965. – 98 с.
25. Химические и физико-химические методы анализа / В. И. Кочеров, С. Ю. Сараева, И. С. Алямовская [и др.]. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 104 с.
26. Харитонов, Ю. Я. Физико-химические методы анализа / Ю. Я. Харитонов. – М. : Высш. шк., 2001. – 252 с.
27. Накамото, К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений / К. Накамото. – М. : Мир, 1991. – 536 с.
28. Сурсякова, В. В. Определение хлоратов и перхлоратов – ионов в питьевой воде с использованием капиллярного электрофореза / В. В. Сурсякова, А. И. Рубайло // *Журнал Сибирского федерального университета. Химия*. – 2018. – Т. 11, № 3. – P. 361–368. <https://doi.org/10.17516/1998-2836-0082>

References

1. Umirov F. E., Namazova G. R., Shodikulov G. M. Physicochemical properties and agrochemical efficacy of new defoliant based on sodium, magnesium and calcium chlorates containing surfactants. *Universum: Khimiya I Biologiya = Universum: Chemistry and Biology*, 2021, no. 1 (79), pp. 33–35 (in Russian).
2. Umirov F. E. *Obtaining a defoliant based on chlorates and organic compounds*. Bukhara, Durdona Publ., 2019. 139 p. (in Russian).
3. Teshayev Sh. Preparation of a defoliant based on chlorates and organic compounds. *O'zbekiston qishlog xo'jaligi*, 2006, no. 1, pp. 14–20 (in Uzbek).
4. Girenko D. V., Gyrenko A. A., Nikolenko N. V. Potentiometric Determination of Chlorate Impurities in Hypochlorite Solutions. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2019, vol. 2. <https://doi.org/10.1155/2019/2360420>
5. Togasharov A. S., Shukurov Zh. S., Tukhtaev S. *New defoliant based on chlorates and man-made waste of cotton ginning plants*. Navruz, 2019. 156 p. (in Uzbek).
6. Raghavendra T., Rama Reddy Y. Efficacy of Defoliant on Yield and Fibre Quality of American Cotton in Semi-Arid Conditions. *Indian Journal of Agricultural Research*, 2020, vol. 54, pp. 404–407. <https://doi.org/10.18805/IJAR.A-5288>
7. Umirov F. E., Zakirov B. S., Nomozova G. R., Khudoiberdiev F. I. Investigation of the process of obtaining the defoliant sodium tricarbamidochlorate containing surfactants. *Namangan Davlat Universiteti Ilmiy Axborotnomasi = Scientific Bulletin of Namangan State University*, 2019, no. 3, pp. 46–49 (in Russian).
8. Shukurov Zh. S., Togasharov A. S., Askarova M. K., Tukhtaev S. *Complex defoliant with physiologically active and insecticidal properties*. Navruz, 2019. 136 p. (in Uzbek).
9. El-Sherbeni A. E.-H. E.-D., Khaleid M. S., AbdAllah S. A. E. A., Ali O. S. M. Effect of some insecticides alone and in combination with salicylic acid against aphid, *Aphis gossypii*, and whitefly *Bemisia tabaci* on the cotton field. *Bulletin of the National Research Centre*, 2019, vol. 43, no. 1, pp. 57. <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0103-0>
10. Boyd C. E. Solubility and Chemical Equilibrium. *Water quality*. Springer, Cham, 2020, pp. 65–82. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23335-8_4

11. Adilov Z. Kh., Ergashev D. A., Tozhiev R. R., Khamdamova Sh. Sh. *Production of chlorate-containing defoliant with insecticidal properties*. Fergana – Vinnitsa “European Scientific Platform”, 2021. 133 p. <https://doi.org/10.36074/ad-er-to-kha.monograph> (in Russian).
12. Kossev K., Tsvetanova L., Dimova L., Nikolova R., Shivachev B. Synthesis and crystal structure of magnesium chloride dihydrate and chlorate hexahydrate. *Bulgarian Chemical Communications*, 2013, vol. 45, no. 4, pp. 543–548.
13. Khamdamova Sh. Sh. Study of the process of obtaining a liquid defoliant based on calcium chlorate, urea and ethylene producers. *Universum: tekhnicheskiye nauki = Universum: Technical Sciences*, 2019, no. 10–2 (67). Available at: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/7938> (Accessed 2 August 2024) (in Russian).
14. Yakimenko L. N., Pasmannik M. I. *Handbook for the production of chlorine, caustic soda and basic chlorine products*. Moscow, Khimiya Publ., 1976. 440 p. (in Russian)
15. Umirov F. E., Namazova G. R. Obtaining sodium chlorate on the basis of sodium hypochlorite from caustic soda workshop. *Namangan Davlat Universiteti Ilmiy Axborotnomasi = Scientific Bulletin of Namangan State University*, 2021, no. 5, pp. 88 (in Russian).
16. Umirov F. E., Namazova G. R., Majidov H. Solubility Diagram of the Sodium Hypochlorite–Sodium Chloride–Water System. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 2022, vol. 67, no. 4, pp. 514–517. <https://doi.org/10.1134/S0036023622040209>
17. Khamdamova Sh., Askarova M., Tukhtaev S. Development of technology for the production of calcium defoliant chlorate using industrial waste. *International scientific review*, 2017, no. 4 (35), pp. 14.
18. Nabiev M. N., Shammashov R., Tukhtaev S., Kucharov Kh., Musaev N. Yu., Alimova G. A. *Method for producing calcium chlorate chloride defoliant*. Copyright Certificate USSR no. 1143691. Publ. date 7 March 1985. Available at: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0001143691_19850307_A1_SU (Accessed 2 August 2024) (in Russian).
19. Shukurov Zh. S., Khusanov E. S., Mukhitdinova M. Sh., Togasharov A. S. Component Solubilities in the Acetic Acid–Monoethanolamine–Water System. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 2021, vol. 66, no. 6, pp. 902–908. <https://doi.org/10.1134/s0036023621060176>
20. Sidikov A. A., Tokhasharov A. S., Shukurov Zh. S., Tukhtaev S. The solubility of the $\text{NaClO}_3 \cdot \text{CO}(\text{NH}_2)_2 - \text{N}(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})_3 - \text{HNO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ system. *International journal of advanced research in science, engineering and technology*, 2020, vol. 7, no. 5, pp. 13869–13874.
21. Umirov F. E., Shodikulov Zh. M., Umirov U. F. Research of processes of obtaining chlorate-magnesium defoliant on the basis of serpentinite of the arvatén deposit. *Put' nauki = The Way of Science*, 2020, no. 10 (80), pp. 19–23 (in Russian).
22. Nedoma I. *Deciphering radiographs of powders*. Moscow, Metallurgiya Publ., 1975. 424 p. (in Russian).
23. Anosov V. Ya., Ozerova M. I., Burmistrova N. P., Shchedrina A. P. *A manual for practical exercises in physical and chemical analysis. Water-salt systems and some methods of studying equilibria and phase transformations*. Kazan, Kazan University Publishing House, 1969. 90 p. (in Russian).
24. Perelman F. M. *Image of chemical systems with any number of components*. Moscow, Nauka Publ., 1965. 98 p. (in Russian).
25. Kocherov V. I., Saraeva S. Yu., Alyamovskaya I. S., Darienko N. E., Gerasimova E. L., Malysheva N. N. *Chemical and physico-chemical methods of analysis*. Yekaterinburg, Ural University Press, 2016. 104 p. (in Russian).
26. Kharitonov Y. Y. *Physico-chemical methods of analysis*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2001. 252 p. (in Russian).
27. Nakamoto K. *Infrared and Raman spectra of inorganic and coordination compounds*. John Wiley & Sons, Inc., 1986. 484 p.
28. Sursyakova V. V., Rubailo A. I. Determination of Chlorate and Perchlorate Ions in Drinking Water Using Capillary Electrophoresis. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*, 2018, vol. 11, no. 3, pp. 361–363 (in Russian). <https://doi.org/10.17516/1998-2836-0082>

Информация об авторах

Умиров Фарход Эргашович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры. Навоийский государственный горно-технологический университет (ул. Галаба Шох, 127, 210100, Навои, Республика Узбекистан). E-mail: Umirov3@yandex.ru

Дормешкин Олег Борисович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры. Белорусский государственный технологический университет (220006, Минск, ул. Свердлова 13а, Республика Беларусь). E-mail: dormeshkin@yandex.ru

Номозова Гульмира Рахматуллаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры. Навоийский государственный горно-технологический университет (ул. Галаба Шох, 127, 210100, Навои, Республика Узбекистан). E-mail: gulmiranr1986@mail.ru

Шарипов Санат Шухратович – кандидат технических наук, доцент кафедры. Навоийский государственный горно-технологический университет (ул. Галаба Шох, 127, 210100, Навои, Республика Узбекистан).

Кенжаева Ситора Хусеновна – магистрант. Навоийский государственный горно-технологический университет (210100, Навои, ул. Галаба Шох, 127, Республика Узбекистан). E-mail: sitorakenjaeva823@gmail.com

Information about the authors

Umirov Farhod E. – Dr. Sc. (Engineering), Professor, Professor of the Department. Navoi State University of Mining and Technology (127, Galaba Shokh Str., 210100, Navoi, Republic of Uzbekistan). E-mail: Umirov3@yandex.ru

Dormeshkin Oleg B. – Dr. Sc. (Engineering), Professor, Professor of the Department. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dormeshkin@yandex.ru

Nomozova Gulmira R. – Ph. D. (Engineering), Associate Professor of the Department. Navoi State University of Mining and Technology (127, Galaba Shokh Str., 210100, Navoi, Republic of Uzbekistan). E-mail: gulmiranr1986@mail.ru

Sharipov Sanat Sh. – Ph. D. (Engineering), Associate Professor of the Department. Navoi State University of Mining and Technology (127, Galaba Shokh Str., 210100, Navoi, Republic of Uzbekistan).

Kenjaeva Sitora K. – Master. Navoi State University of Mining and Technology (127, Galaba Shokh Str., 210100, Navoi, Republic of Uzbekistan). E-mail: sitorakenjaeva823@gmail.com