



ISOTHERMAL SOLUBILITY DIAGRAM OF A SYSTEM CASO₄-CO (NH₂)₂ -H₂O AT 40 AND 60°C

¹Erkayev A.U.

²Reymov A.M.

³Kucharov B.Kh.

⁴Mambetkarimova G.S.

⁵Jalgasbaeva B.M.

¹Tashkent Institute of Chemical Technology, Professor.

²Head of the Karakalpak Branch of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Academician.

³Institute of General and Inorganic Chemistry of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Head of Laboratory.

⁴Karakalpak State University, basic doctoral student.

⁵Karakalpak State University, Master's student

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20133808>

ARTICLE INFO

Received: 03rd May 2026

Accepted: 10th May 2026

Online: 11th May 2026

KEYWORDS

System, diagram,
isotherm, solubility,
compound, liquid and
solid phase,
phosphogypsum,
carbamide, fertilizer.

ABSTRACT

In this work, for the purpose of obtaining complex fertilizers with reduced solubility, the solubility of salts in the calcium sulfate-carbamide water triple system was studied using isothermal methods at 40°C and 60°C; based on the analysis results of the liquid and solid phases, isothermal solubility diagrams for this system were constructed. On which the crystallization fields of two initial components and a new chemical compound with the composition: CaSO₄•4CO(NH₂)₂ are demarcated.

ИЗОТЕРМИЧЕСКАЯ ДИАГРАММА РАСТВОРИМОСТИ СИСТЕМЫ CASO₄-CO(NH₂)₂ -H₂O ПРИ 40 И 60°C

¹Эркаев А.У.

²Реймов А.М.

³Кучаров Б.Х.

⁴Мамбеткаримова Г.С.

⁵Жалгасбаева Б.М.

¹Ташкентский химико-технологический институт, профессор.

²Начальника Каракалпакского отделения Академия наук Республики Узбекистан, академик.

³Институт общей и неорганической химии Академия Наук Республики Узбекистан, Заведующий лабораторией.

⁴Каракалпакский государственный университет, базовый докторант.

⁵Каракалпакский государственный университет, магистрант

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20133808>

ARTICLE INFO

Received: 03rd May 2026

Accepted: 10th May 2026

Online: 11th May 2026

KEYWORDS

ABSTRACT

В данной работе с целью получения комплексных удобрений с пониженной растворимостью изучена растворимость солей изотермическим методом в



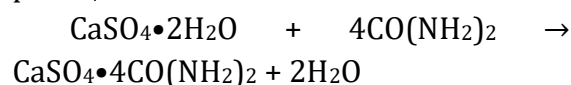
Система, диаграмма, изотерма, растворимость, соединение, жидкая и твердая фаза, фосфогипс, карбамид, удобрение.

тройной системе сульфат кальция-карбамид вода изучения изотермическим методами при 40°C и 60°C. из результатов анализа жидких и твердых фаз построены изотермические диаграммы растворимости данной системы. На которой разграничены поля кристаллизации двух исходных компонентов и нового химического соединения состава: $\text{CaSO}_4 \cdot 4\text{CO}(\text{NH}_2)_2$.

Введение. Азотные удобрения, выпускаемые химической промышленностью, являются легкорастворимыми соединениями. Поэтому при их использовании теряется 30-50% азота, а вымывание азотных удобрений из почвы – одна из основных причин загрязнения водоёмов. Применение азотных удобрений с пониженной растворимостью позволяет уменьшить их вредное на окружающую среду и увеличить эффективность их использования.

Удобрения с пониженной растворимостью в работах [1, 2] получали смешением мочевины, взятой либо в кристаллическом, либо в гранулированном виде, с фосфогипсом – отходом производства экстракционной фосфорной кислоты Гомельского химического завода, содержащим 36-44% влаги, при молярном соотношении CaSO_4 и $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, равном 1,0 : (1,0-4,0). После смешения массу подсушивали при температуре 343-353°K и гранулировали при той же температуре во вращающемся барабане. Полученные образцы анализировали на содержание оксида кальция, серного ангидрида и общего азота.

При смешении исходных реагентов протекает следующая реакция:



Мочевина, взаимодействуя с дигидратом сульфата кальция, который является основным компонентом фосфогипса, вытесняет из него кристаллизационную и гигроскопическую влагу, образуя при этом легкоподвижную пульпу.

Взаимодействие мочевины с дигидратом сульфата кальция начинается уже при комнатной температуре, однако в этом случае скорость взаимодействия исходных компонентов мала. Оптимальная температура ведения процесса - 343-353°K. Более высокая температура не желательна вследствие разложения как самой мочевины, так и её аддукта.

Новые удобрения по сравнению с известными имеют следующие преимущества: обеспечивают потребность растений в сере и азоте одновременно, исключаются потери азота при поверхностном внесении удобрений по сравнению с мочевиной, повышается коэффициент использования азота за счёт уменьшения растворимости компонента удобрения.



По японскому патенту [3] к суспензии фосфогипса в фосфорной кислоте, полученной в процессе разложения природного фосфата серной кислотой, добавляют мочевины; реакцию ведут при температуре 80°. Затем суспензию нейтрализуют, добавляя к ней аммиак до образования $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$; полученный продукт гранулируют и сушат.

По патенту [4] расплавленную смесь, содержащую мочевины и гипс, имеющую постоянную вязкость, получают при взаимодействии мочевины с безводным, прокалённым или двуводным гипсом в расплавленном состоянии в присутствии солей щелочных металлов, например калиевой соли минеральной кислоты в количестве менее 5-10 вес. %.

С целью уменьшения потерь азота из мочевины её смешивают с плохорастворимым нейтральным неорганическим веществом, в качестве которого могут быть использованы сульфат кальция, сера и (или) полифосфат калия [5]. Обработку полученной смеси заканчивают обычными способами, например смесь гранулируют, или прессуют, или нагревают до температуры плавления мочевины и разбрызгивают полученную суспензию. запатентован способ [6] получения медленнодействующего удобрения путём смешения нагретой мочевины с гипсо-содержащим веществом, отличающийся тем, что, с целью получения удобрения, не содержащего биурет, с повышенным содержанием карбамидного азота,

Материалы и методы. Для определения растворимости изотермическим методом применяется аппаратура, состоящая из термостата с ртутно-толуоловым терморегулятором и стеклянного сосуда, в котором вращается мешалка с помощью электромотора со скоростью примерно 600 оборотов в минуту.

Постоянная температура поддерживается при помощи размешивания и подвода тепла. Термостат заполняется водой или минеральным маслом, для высоких температур. Стеклянный сосуд для определения растворимости состоит из частей: нижней – емкостью до 100 мл, куда наливают исследуемый насыщенный раствор и верхней – впаиванной широкой пробирки, где помещается ртуть или масло, в качестве затворной жидкости. Время размешивания для определения растворимости, зависит от химической природы солей и от скорости установления равновесия. Иной раз размешивание продолжается непрерывно неделями или даже месяцами, обычно же несколько часов.

Система изучается практически следующим образом: в сосуд наливается 50 мл. дистиллированной воды и после загружают в сосуд сначала кристаллы одного из двух компонентов, размешивают до равновесия и отбирают пробу. После отбора пробы добавляется навеска второго компонента. Система при определенной температуре размешивается до равновесного состояния, затем раствор оставляется



на 20-30 минут для полного осаждения частиц донной фазы. После чего определяется аналитическим методом состав взятой пипеткой пробы из жидкой фазы сосуда. Также определяется в термостате вязкость и удельный вес раствора. Взятые из сосуда небольшое количество кристаллов твердой фазы высушивается фильтровальной бумагой, взвешивается и подвергается химическому анализу. Далее прибавляется еще навеска второго компонента и описанный процесс повторяется до полного установления равновесия [7].

Результаты и обсуждение. Взаимная растворимость солей в тройной системе сульфат кальция-карбамид вода изучения

изотермическими методами при 40°C и 60°C. Равновесие в системе устанавливалось через 1,5-2,0 и 2,5-3,0 суток, соответственно. На основе химического анализа составов жидких и твердых фаз построена изотермическая диаграмма растворимости этой системы при 40 и 60°C.

Диаграмма растворимости при 40°C характеризуется наличием трех ветвей кристаллизации твердых фаз; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ и нового химического соединения состава $\text{CaSO}_4 \cdot 4\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (рисунок 1). Ветвь кристаллизации двух водного сульфата кальция значительно больше, чем кристаллизации карбамида.

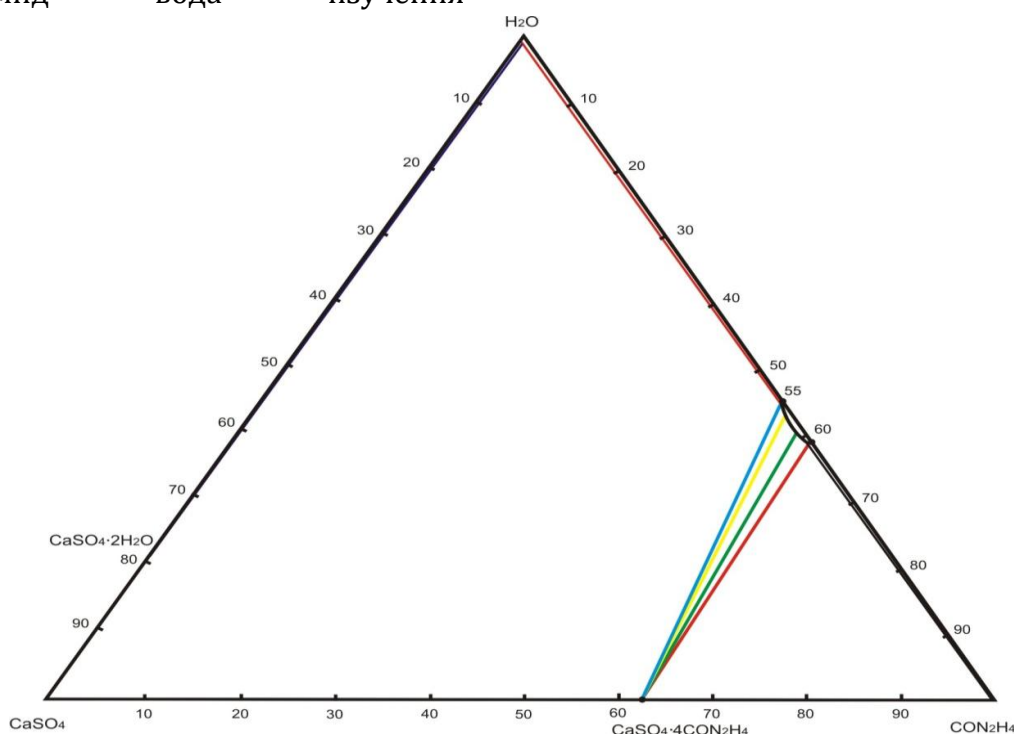


Рисунок 1. Изотермическая диаграмма растворимости системы $\text{CaSO}_4\text{-CO}(\text{NH}_2)_2\text{-H}_2\text{O}$ при 40°C.

Аналогичный характер имеет диаграмма растворимости тройной системы $\text{CaSO}_4\text{-CO}(\text{NH}_2)_2\text{-H}_2\text{O}$ при

60°C, в котором установлены три ветви кристаллизации, отвечающих выпадению в твердую фазу $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ и соединения- $\text{CaSO}_4 \cdot 4\text{CO}(\text{NH}_4)_2$.

Из изотермической диаграмм растворимости следует, что мочевины в присутствии сульфата кальция при 40 и 60°C повышает свою растворимость, чем его первоначальную растворимость в воде. Его очевидно, связано с образованием соединения в системе.

В области системы, более богатой карбамидом кристаллизуется комплекс $\text{CaSO}_4 \cdot 4\text{CO}(\text{NH}_4)_2$. Прямолинейные лучи, исходящие от линии ликвидуса соединения $\text{CaSO}_4 \cdot 4\text{CO}(\text{NH}_4)_2$ пересекается в точке,

расположенной по безводной стороне концентрационного треугольника. Это свидетельствует о том, что данное соединение не содержит кристаллизационную воду. Лучи соединения $\text{CaSO}_4 \cdot 4\text{CO}(\text{NH}_4)_2$, связывающие полюс комплекса с началом координат, пересекают его кристаллизации, это указывает на конгруэнтную растворимость соединения в воде без разложения. По этому, оно может быть перекристаллизовано из водных растворов.

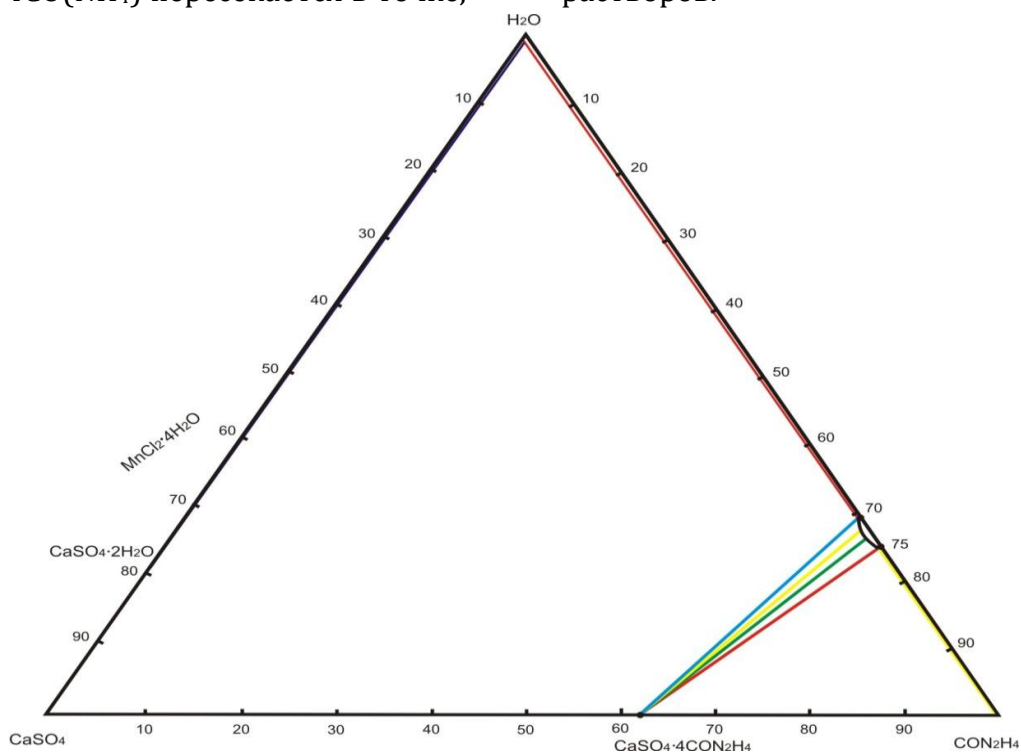


Рисунок. 2. Изотермическая диаграмма растворимости системы $\text{CaSO}_4\text{-CO}(\text{NH}_2)_2\text{-H}_2\text{O}$ при 60°C.

Заключение. Таким образом, изучена растворимость изотермическим методом компонентов в системе $\text{CaSO}_4\text{-CO}(\text{NH}_2)_2\text{-H}_2\text{O}$ при 40 и 60°C. На основе полученных данных построена изотермическая диаграмма растворимости данной системы. Из изотермической диаграмм

растворимости следует, что мочевины в присутствии сульфата кальция при 40 и 60°C повышает свою растворимость, чем его первоначальную растворимость в воде. Его очевидно, связано с образованием соединения в системе. Лучи соединения $\text{CaSO}_4 \cdot 4\text{CO}(\text{NH}_4)_2$, связывающие полюс комплекса с началом координат, пересекают его кристаллизации, это указывает на



конгруэнтную растворимость
полученного соединения.

References:

1. Наркевич И.П., Воробьев Н.И., Кашуба Н.С., Островский Л.К. Получение сложных удобрений с пониженной растворимостью на основе фосфогипса и мочевины // Химия и химическая технология – Минск, выпуск № 1, 1987 г, с. 91-96.
2. Воробьев Н.И., Островский Л.К., Печковский В.В., Янишевский Ф.В., Мельникова Р.Я., Кучеренко Н.С. Медленнодействующее азотсерадсодержащее удобрение на основе фосфогипса и карбамида // Труды НИУИФА «Исследования по использованию фосфогипса», выпуск 256 – М., 1989, с. 251-258.
3. Патент № 16222 Япония. Способ производства сложных удобрений на основе мочевины и гипса / Нисимура Цугио, Хоруити Хиротоси, Мацуура Садао, Мори Токуо. – опубликован 13.09.61 – РЖХим 1963, 9Л 107.
4. Патент № 29845 Япония. Кл. 16 В 811 (С01f). Устойчивая смесь мочевины-гипс / Фукасиама Йосимаса. – РЖХим 1972, 6Л 155.
5. Патент № 121456 ГДР. Кл. С05С 9/00. Обработка мочевины / Richter Herfried. – РЖХим 1978, 1Л 132.
6. Авт. свид. № 1063800 СССР. Кл. С05С 9/00. Способ получения медленнодействующего удобрения / Наркевич И.П., Кудрявцев А.И., Печковский В.В., Плышевский С.В., Стрельченко В.С. - Б.И. № 48, 1983 г.
7. Графический анализ солевых систем. Эркаев А.У., Дормешкин О.Б., Реймов А.М., Шарипова Х.Т., Кучаров Б.Х.- учебник. Ташкент: Издательство «Национального общества философов Узбекистана», 2023-552 с.