

ВЛИЯНИЕ КАРБАМИДА НА ПРОЦЕСС СЕРНОКИСЛОТНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ В НЕЗАГУСТЕВАЮЩИХ СУСПЕНЗИЯХ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ

© О.Б.Дормешкин, Н.И.Воробьев, Г.Х.Черчес, А.Н.Гаврилюк

Белорусский государственный технологический университет, Минск

Поступило в Редакцию 8 июня 2007 г.

Изучено влияние карбамида на процесс сернокислотного разложения фосфатного сырья в незагустевающих суспензиях при получении комплексных удобрений. Исследован механизм и фазовый состав промежуточных и конечных продуктов процесса разложения в присутствии карбамида. Полученные результаты явились теоретической основой разработки нового технологического процесса получения комплексных серосодержащих удобрений.

Процессы кислотного разложения фосфатного сырья в незагустевающих суспензиях имеют большое значение в технологии неорганических веществ, так как лежат в основе получения ряда важнейших химических продуктов, в частности экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК), простого и двойного суперфосфата. В то же время устойчивой тенденцией является перевод производств простых однокомпонентных удобрений на выпуск комплексных NP и NPK удобрений. Так, в России по данным работы [1] доля простых фосфатных удобрений составляет всего 1.6% в общей выработке. На современном европейском рынке в настоящее время предлагается около 200 марок фосфорсодержащих комплексных удобрений. Основным направлением оптимизации ассортимента минеральных удобрений в Республике Беларусь, по данным ученых-агрохимиков [2], также является существенное увеличение объемов производства и применения полных комплексных удобрений. Это позволит на 65–70% снизить затраты на внесение удобрений и оптимизировать минеральное питание растений, что очень трудно сделать при использовании простых форм удобрений и существующей технике для их внесения.

В настоящее время большое внимание среди исследователей и производителей уделяется процессам получения комплексных удобрений с введением карбамида. Использование карбамида в процессах получения сложных удобрений на основе продуктов кислотной переработки фосфатов целесообразно с агрохимической точки зрения. Интерес к системам карбамид-суперфосфат, карбамид-фосфаты аммония связан также с тем, что между компонентами систем протекают реакции аддуктообразования. Удобрения, содержащие аддукты карбамида с сульфатом и гидрофосфатом кальция, выделяют азот в почву со значительно меньшей скоростью по сравнению с карбамидом, что позволяет получать на их основе комплексные удобрения пролонгированного действия и

снизить потери питательных компонентов в почвах. Однако получение комплексных удобрений с введением карбамида является достаточно сложной задачей. Непосредственное смешение карбамида и суперфосфата (фосфатов аммония) нежелательно, поскольку различия физических свойств этих удобрений, в частности насыпной плотности, приводят к неравномерности состава смеси и неравномерности распределения отдельных компонентов на полях. Введение карбамида в производственный процесс получения суперфосфата, в частности совместно с ретуром также является непростой задачей, поскольку связано с высвобождением воды и образованием большого количества дополнительной жидкой фазы, увеличением ретурности, повышением энергозатрат и возрастанием слеживаемости конечного продукта.

Представляется целесообразным введение карбамида непосредственно в кислую, или частично аммонизированную, суспензию перед стадией гранулирования. Это позволит снизить количество вводимой в процесс с исходными реагентами жидкой фазы и соответственно уменьшить затраты на ее последующую сушку за счет улучшения реологических свойств суспензий при введении карбамида. Однако имеющиеся данные о влиянии карбамида на процесс сернокислотного разложения фосфатного сырья носят несистемный характер, зачастую противоречивы и не позволяют сделать однозначный вывод об оптимальном способе и месте введения карбамида в технологический цикл при получении комплексных удобрений.

Целью настоящих исследований явилось изучение особенностей процесса сернокислотного разложения фосфатного сырья в незагустевающих суспензиях в присутствии карбамида, установление химического и фазового состава образующихся продуктов. Полученные результаты явились основой разработки новой малоотходной технологии серосодержащих комплексных NPKS удобрений.

Экспериментальная часть

Исследования влияния карбамида на процесс сернокислотного разложения фосфатного сырья проводили в условиях, соответствующих дигидратному режиму экстракции в производстве ЭФК с использованием в качестве фосфатного сырья апатитового концентрата. Норма серной кислоты, рассчитанная по стехиометрии и соответствующая молярному соотношению P:S=3:5, составляла 89.4 мас.ч. H₂SO₄ на 100 мас.ч. апатита. Содержание CO(NH₂)₂ варьировали в пределах 10–40 мас% от массы жидкой фазы. Продолжительность разложения составляла 30 мин.

В результате разложения образуются хорошеотекучие суспензии, однако разделение твердой и жидкой фаз путем фильтрации затруднительно, поэтому для проведения последующих анализов полученные суспензии разбавляли водой и отфильтровывали. Осадок промывали водой до pH 5–6 и высушивали при температуре 95°C до постоянной массы. Параллельно с целью изучения процесса доразложения апатита при сушке образующиеся суспензии высушивали при температуре 95°C до постоянной массы без предварительного разделения. В высушенной суспензии и осадке определяли содержание усвояемого и общего P₂O₅, в водной вытяжке высушенной суспензии и фильтрате – содержание водорастворимого P₂O₅ и карбамида. Химический анализ проводили по стандартным методикам [3].

По результатам анализов определяли основные технологические показатели процесса. Коэффициенты разложения рассчитывали как по количеству растворимого в воде и лимонной кислоте P₂O₅, т.е. усвояемого P₂O₅ (K₁), так и по разности между общим и растворимым в лимонной кислоте P₂O₅, т.е. по количеству неусвояемого P₂O₅ (K₂). После разбавления водой, фильтрации, промывки и сушки осадка

$$K_{1ф} = (P_2O_5_{\text{вод}} + P_2O_5^{\text{осв}}) / P_2O_5_{\text{исх}} \quad (1)$$

$$K_{2ф} = 1 - (P_2O_5^{\text{общ}} - P_2O_5^{\text{осв}}) / P_2O_5_{\text{исх}} \quad (2)$$

после сушки суспензии

$$K_{1с} = P_2O_5_{\text{осв}} / P_2O_5_{\text{исх}} \quad (3)$$

$$K_{2с} = 1 - (P_2O_5^{\text{общ}} - P_2O_5_{\text{осв}}) / P_2O_5_{\text{исх}} \quad (4)$$

где содержание оксида фосфора(V): P₂O₅_{исх} – в навеске апатита, P₂O₅_{вод} – водорастворимого, P₂O₅_{осв} и P₂O₅_{общ} – усвояемого и общего в высушенном осадке, P₂O₅_{осв} и P₂O₅_{общ} – усвояемого и общего в высушенной суспензии; содержание всех форм оксида фосфора(V) может быть выражено в любых одинаковых единицах.

По данным убыли массы при сушке и результатам анализа высушенных суспензий на содержание кар-

бамида оценивали массу воды, оставшейся в суспензии (H₂O_{ост}), считая, что потери массы при сушке складываются из потерь H₂O и CO₂, образующегося при превращениях карбамида:

$$m(H_2O_{\text{ост}}) = m(H_2O_{\text{исх}}) - \Delta m + m(CO_2) - m(H_2O_p), \quad (5)$$

где m(H₂O_{исх}) – суммарная масса воды в смеси исходных веществ (г); Δm – убыль массы суспензии при сушке (г); m(CO₂) – масса CO₂, образующегося при превращениях карбамида (г); Δm(H₂O_p) – масса воды, вступающей в реакцию гидролиза карбамида (г).

Полученные образцы высушенных суспензий и осадков исследовали методами рентгенофазового анализа и ИК спектроскопии. Рентгенографическое исследование проводили с использованием рентгеновского дифрактометра «D8 Advance» фирмы «Bruker». Инфракрасные спектры записывали на ИК Фурье спектрометре NEXUS компании NICOLET (США). Для установления фазового состава образцов использовали базу данных [4]. Отнесение полос ИК спектров проводили с использованием справочника [5]. Результаты химического анализа фильтратов и осадков и рассчитанные по этим данным показатели процесса представлены в табл. 1.

Отклонение суммарного количества P₂O₅, найденного в фильтрате и осадке, от исходного количества P₂O₅ в апатите составляет 0.1–2.5%; значения коэффициентов разложения, рассчитанные по анализу фильтратов (K₁) и осадков (K₂), различаются на 0.1–2.2%; количество карбамида, найденное в фильтрате, отличается от исходного на 2.3–4.6%, что позволяет сделать вывод о достоверности полученных результатов.

Сравнение данных, полученных при фильтрации суспензий сразу после завершения разложения и через неделю после разбавления, указывает на то, что в разбавленной суспензии происходит дальнейшее разложение апатита. В связи с этим количественную оценку процесса разделения твердой и жидкой фаз осуществляли сразу по окончании разложения.

Как следует из анализа данных (рис. 1, а), распределение фосфора между различными формами существенно изменяется в зависимости от содержания карбамида. С увеличением количества карбамида доля P₂O₅ в жидкой фазе уменьшается, в твердой – возрастает, что свидетельствует о снижении содержания водорастворимых форм. При этом содержание усвояемых фосфатов в осадке мало и не зависит от наличия карбамида. Как видно из анализа кривых изменения степени разложения сырья (рис. 2), при увеличении содержания карбамида до 40% коэффициент разложения K_{1ф} снижается с 44.1 до 21.2%, K_{2ф} – с 43.8 до 20.5%, т.е. более чем в 2 раза. Это позволяет сделать вывод об ухудшении процесса разложения в присутствии карбамида.

Таблица 1

Результаты исследования процесса разложения апатита серной кислотой с последующим разбавлением суспензии водой, фильтрацией, промывкой и сушкой осадка

Показатель процесса	Исходное содержание $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ в жидкой фазе, мас%				
	0	10	20	30	40

Фильтрация суспензии сразу после разбавления

Содержание форм фосфора, % от					
$\text{P}_2\text{O}_5_{\text{исх}}$					
$\text{P}_2\text{O}_5_{\text{вод}}$	43.7	29.7	22.3	17.5	20.6
$\text{P}_2\text{O}_5^{\text{ос}}_{\text{усв}}$	0.4	0.2	0.5	2.4	0.6
$\text{P}_2\text{O}_5^{\text{ос}}_{\text{общ}}$	56.6	67.9	75.2	84.2	80.1
$\text{P}_2\text{O}_5^{\text{ос}}_{\text{общ}} - \text{P}_2\text{O}_5^{\text{ос}}_{\text{усв}}$	56.2	67.7	74.7	81.8	79.5
$\text{P}_2\text{O}_5_{\text{вод}} + \text{P}_2\text{O}_5^{\text{ос}}_{\text{общ}}$	100.3	97.6	97.5	101.7	100.7
Содержание $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, % от исходного		103.0	104.0	104.2	103.6
$K_{1\text{ф}}$, %	44.1	29.9	22.8	19.9	21.2
$K_{2\text{ф}}$, %	43.8	32.3	25.3	18.2	20.5

Фильтрация суспензии через 5 сут после разбавления

Содержание форм фосфора, % от					
$\text{P}_2\text{O}_5_{\text{исх}}$					
$\text{P}_2\text{O}_5_{\text{вод}}$	69.5	76.0	66.4	66.2	50.1
$\text{P}_2\text{O}_5^{\text{ос}}_{\text{усв}}$	0.9	0.7	1.4	1.4	1.7
$\text{P}_2\text{O}_5^{\text{ос}}_{\text{общ}}$	31.5	26.0	35.8	34.9	49.8
$\text{P}_2\text{O}_5^{\text{ос}}_{\text{общ}} - \text{P}_2\text{O}_5^{\text{ос}}_{\text{усв}}$	30.6	25.3	34.4	33.5	48.1
$\text{P}_2\text{O}_5_{\text{вод}} + \text{P}_2\text{O}_5^{\text{ос}}_{\text{общ}}$	100.9	102.0	102.2	101.1	99.9
Содержание $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, % от исходного		97.0	95.4	97.3	97.7
K_1 , %	70.4	76.7	67.8	67.6	51.8
K_2 , %	69.4	74.7	65.6	66.5	51.9

Известно, что существенное изменение фазового состава и основных показателей процесса наблюдается на стадии сушки фосфорнокислых суспензий при поточной технологии получения фосфорсодержащих удобрений, в частности, в аппарате с барабанным гранулятором-сушилкой (БГС). Поэтому анализ влияния карбамида на состав и основные технологические показатели высушенных фосфорнокислых суспензий представляет научный и практический интерес. Высушенные суспензии, содержащие карбамид, являются смолообразными продуктами, что законо-

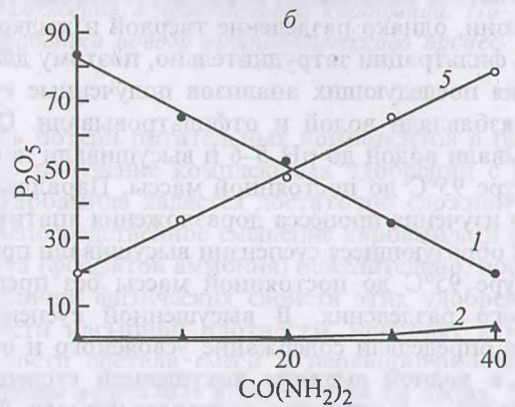
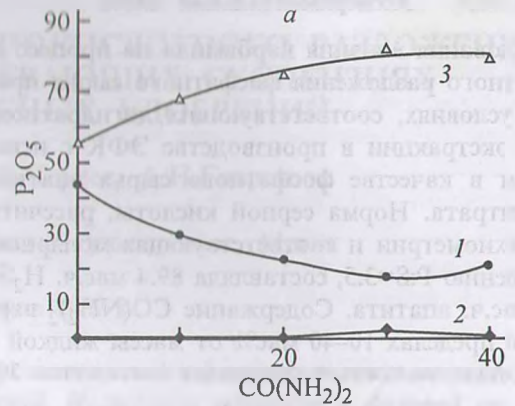


Рис. 1. Влияние содержания карбамида (мас%) на распределение фосфора (% от $\text{P}_2\text{O}_5_{\text{исх}}$) между различными формами в процессе разложения апатита серной кислотой.

Суспензия: а – расфильтрованная сразу после разбавления, б – высушенная.

Форма фосфора: 1 – $\text{P}_2\text{O}_5_{\text{вод}}$, 2 – $\text{P}_2\text{O}_5^{\text{ос}}_{\text{усв}}$, 3 – $\text{P}_2\text{O}_5^{\text{ос}}_{\text{общ}}$ – $\text{P}_2\text{O}_5^{\text{ос}}_{\text{усв}}$, 4 – $\text{P}_2\text{O}_5_{\text{общ}} - \text{P}_2\text{O}_5_{\text{вод}}$, 5 – $\text{P}_2\text{O}_5_{\text{общ}} - \text{P}_2\text{O}_5_{\text{усв}}$.

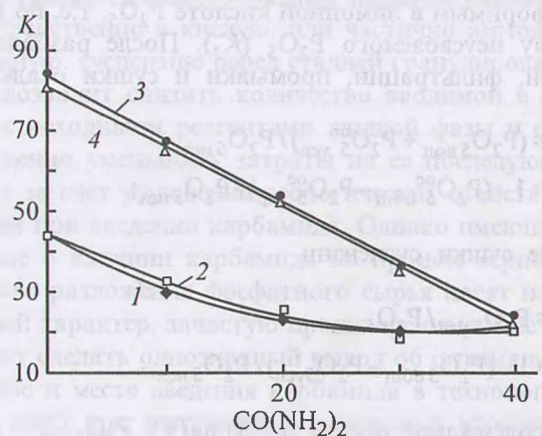


Рис. 2. Влияние содержания карбамида (мас%) на процесс сернокислотного разложения природных фосфатов.

K – коэффициент разложения (%).

Расчет K по количеству P_2O_5 : 1 – усвояемого сразу после разложения ($K_{1\text{ф}}$), 2 – неусвояемого сразу после разложения ($K_{2\text{ф}}$), 3 – усвояемого в высушенных суспензиях ($K_{1\text{с}}$), 4 – неусвояемого в высушенных суспензиях ($K_{2\text{с}}$).

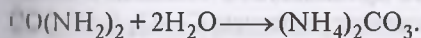
Таблица 2

Результаты исследования процесса разложения апатита серной кислотой с последующей сушкой суспензии

Показатель процесса	Исходное содержание $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ в жидкой фазе, мас%				
	0	10	20	30	40
Продолжительность сушки, ч	24	24	20	20	16
Потеря массы при сушке, % от массы суспензии	30.2	25.9	20.1	10.3	4.3
Содержание $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, % от исходного		97.8	95.3	96.5	92.0
Потеря $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ при сушке, г		0.04	0.18	0.21	0.64
Потеря H_2O , % от $\text{H}_2\text{O}_{\text{исх}}$	84.8	86.8	85.6	60.8	34.6
$\text{H}_2\text{O}_{\text{ост}}$, г	1.67	1.18	1.00	1.95	1.95
Содержание форм фосфора, % от P_2O_5 исход:					
P_2O_5 вод	82.7	65.5	52.4	34.1	19.5
P_2O_5 усв	83.8	66.6	53.6	35.9	23.8
P_2O_5 общ	103.2	101.8	101.3	100.8	101.9
P_2O_5 усв - P_2O_5 вод	1.1	1.1	1.2	1.8	4.3
P_2O_5 общ - P_2O_5 усв	19.4	35.2	47.7	64.9	78.1
$K_{1\text{св}}$, %	83.8	66.6	53.6	35.9	23.8
$K_{2\text{св}}$, %	80.6	64.8	52.3	35.1	21.9

мерно в связи с их высокой кислотностью. Результаты анализа и рассчитанные по этим данным показатели процесса представлены в табл. 2.

Отмечено возрастание потерь карбамида по мере уменьшения его исходного содержания в системе, причем эта зависимость носит нелинейный характер, что свидетельствует о частичном протекании гидролиза по схеме



Полученные данные подтверждают, что в процессе сушки фосфорнокислых суспензий происходит доразложение фосфатного сырья, о чем свидетельствует увеличение коэффициента разложения. Однако тенденция уменьшения степени его разложения и содержания водорастворимых форм фосфора в присутствии карбамида сохраняется (табл. 2, рис. 1, б, 2), и при содержании карбамида 40 мас% доразложение сырья в процессе сушки практически прекращается.

Известно, что снижению растворимости фосфатов кальция способствуют все нейтрализующие кислоту катионы, увеличивающие рН и уменьшающие активность ионов водорода a_{H^+} [6]. По данным работы [7] скорость растворения апатита прямо пропорциональна a_{H^+} . Поскольку карбамид является слабым основанием, в его присутствии происходит увеличение рН раствора, что приводит к уменьшению скорости и степени разложения. Дополнительная нейтрализация кислоты в ходе процесса возможна в результате частичного гидролиза карбамида с образованием ионов аммония, протекающего на стадии сушки фосфорнокислой суспензии.

Известно, что карбамид обладает свойством образовывать солеобразные соединения с кислотами и комплексные соединения с солями. Из компонентов, присутствующих в системе при разложении апатита серной кислотой, карбамид может взаимодействовать с образованием соединений $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CO}(\text{NH}_2)_2$, $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ [8]; $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{CO}(\text{NH}_2)_2$ [9]; $\text{H}_2\text{SiF}_6 \cdot 2\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, $\text{H}_2\text{SiF}_6 \cdot 4\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ [10]; $\text{CaSO}_4 \cdot 4\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ [11]; $\text{MgSO}_4 \cdot \text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ [12]; $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{CO}(\text{NH}_2)_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ [13]. При образовании сульфатов карбамида, по мнению авторов [8], сильная неорганическая кислота нейтрализует слабое основание за счет протонизации или непосредственного присоединения к его молекуле. Это явление в случае подтверждения образования указанных выше соединений в исследуемой системе является главной причиной уменьшения степени сернокислотного разложения фосфатного сырья в присутствии карбамида. Однако не все из указанных соединений будут в равной мере влиять на процесс кислотного разложения природных фосфатов. В частности фосфат карбамида растворяется в воде incongruently [8], поэтому непосредственного отрицательного влияния на процесс разложения апатита образование соединения $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{CO}(\text{NH}_2)_2$, вероятно, не оказывает. Примесь H_2SiF_6 увеличивает коэффициент разложения [14]. В системе $\text{H}_2\text{SiF}_6 - \text{CO}(\text{NH}_2)_2 - \text{H}_2\text{O}$ образуются два конгруэнтно растворимых соединения - $\text{H}_2\text{SiF}_6 \cdot 2\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ и $\text{H}_2\text{SiF}_6 \cdot 4\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ [10], вследствие чего положительное влияние H_2SiF_6 на процесс разложения может быть ослаблено. Большое влияние на процесс сернокислотного разложения апатита оказывают размеры и форма образующихся кристаллов сульфата кальция и его растворимость. В связи с этим особый интерес представляет соединение $\text{CaSO}_4 \cdot 4\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ [11], образование которого может изменить условия равновесия и свойства суспензий. С другими сульфатами карбамид образует аддукты разного состава, в частности с примесями, присутствующими в системе, карбамид может взаимодействовать с образованием соединений $\text{MgSO}_4 \cdot \text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ [12], $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [13]. Соединения маг-

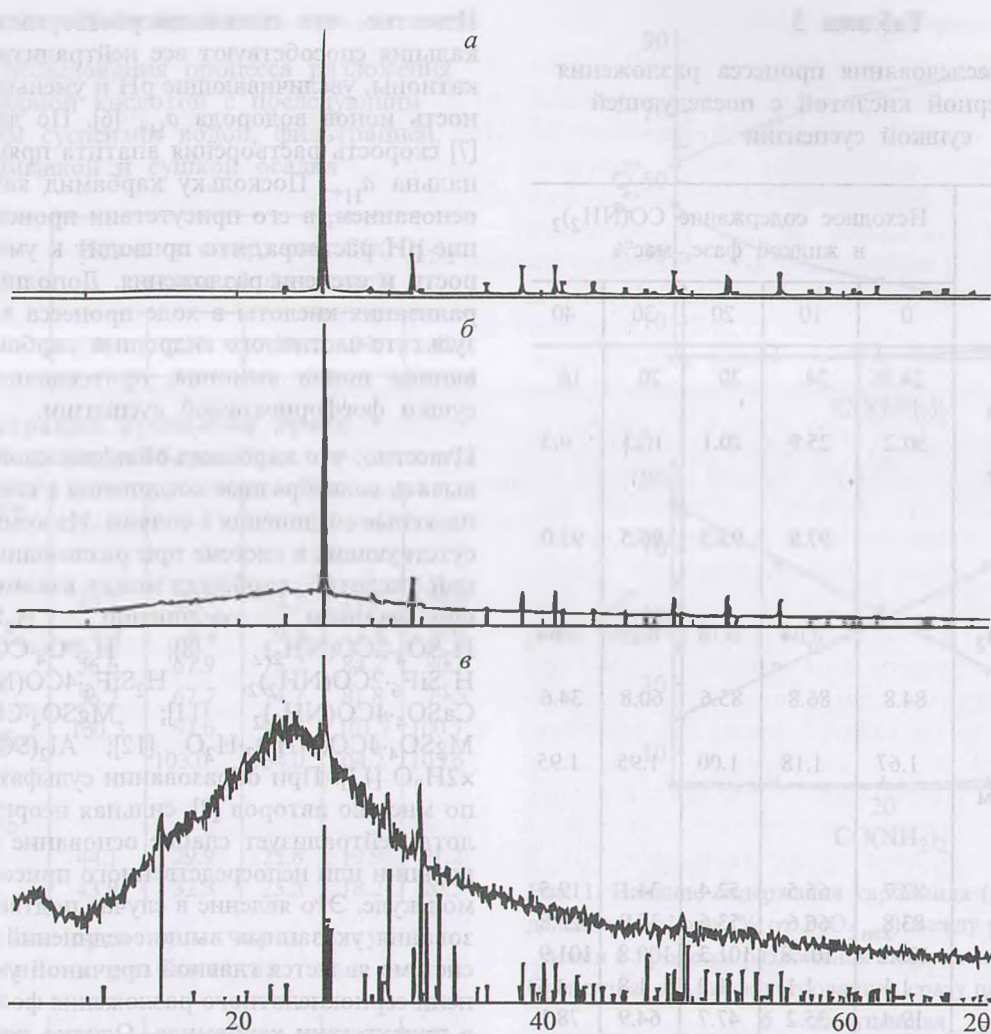


Рис. 3. Рентгенограммы суспензий, полученных при сернокислотном разложении апатита.
 2θ – угол Брэгга (град).

Количество введенного карбамида на стадии разложения (мас%): а – 10, б – 20, в – 40.

ния и алюминия влияют главным образом на размеры и форму кристаллов сульфата кальция [15], поэтому образование указанных аддуктов может изменить эти характеристики, однако заметного влияния на процесс разложения они не окажут.

Для объяснения установленных особенностей кислотного разложения природных фосфатов в присутствии карбамида полученные на стадии разложения образцы осадков и суспензий были исследованы методами рентгенофазового анализа и ИК спектроскопии. По данным рентгенофазового анализа основной кристаллической фазой, присутствующей в промытых и высушенных осадках после разбавления и фильтрации суспензий, при разложении апатита серной кислотой является CaSO_4 , что представляется закономерным. Кроме того, в осадках присутствует исходный апатит, относительное количество которого увеличивается с ростом содержания карбамида в результате снижения степени разложения сырья. Наличие в осадках карбамида и его соединений не

обнаружено, что подтверждает его присутствие в исследуемых суспензиях в составе жидкой фазы.

На рентгенограммах образцов высушенных сернокислотных суспензий с исходным содержанием карбамида до 20 мас%, присутствуют рефлексы CaSO_4 (рис. 3). Рефлексы, соответствующие апатиту, характеризуются очень малой интенсивностью. На рентгенограмме образца, содержащего 40% карбамида, присутствие апатита проявляется в большей степени, кроме того, присутствуют рефлексы $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$. С ростом содержания карбамида наблюдается увеличение фона с максимумом в области $2\theta = 23^\circ$, обусловленного возрастанием количества аморфной фазы.

Подобные изменения обнаруживаются и при анализе ИК спектров данных суспензий. Использование метода ИК спектроскопии позволило установить изменения, происходящие в процессе сернокислотного разложения в присутствии карбамида, и объяснить факт снижения степени разложения фосфатного сырья (рис. 4, 5).

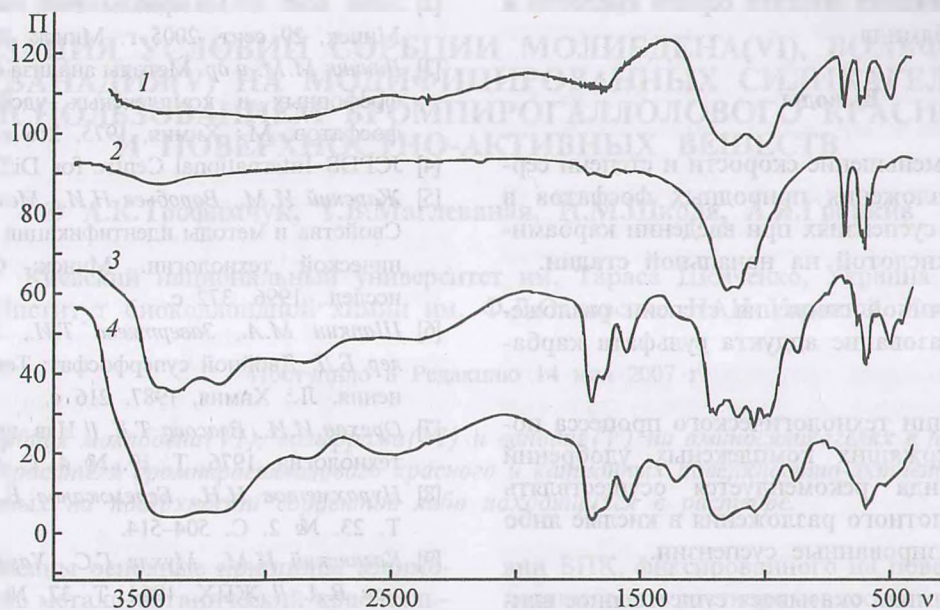


Рис. 4. ИК спектры продуктов разложения апатита серной кислотой (высушенных суспензий) при введении карбамида.

П – пропускание (%), ν – волновое число (см^{-1}); то же для рис. 5.

Количество введенного на стадии разложения карбамида (мас%): 1 – 0, 2 – 10, 3 – 20, 4 – 40.

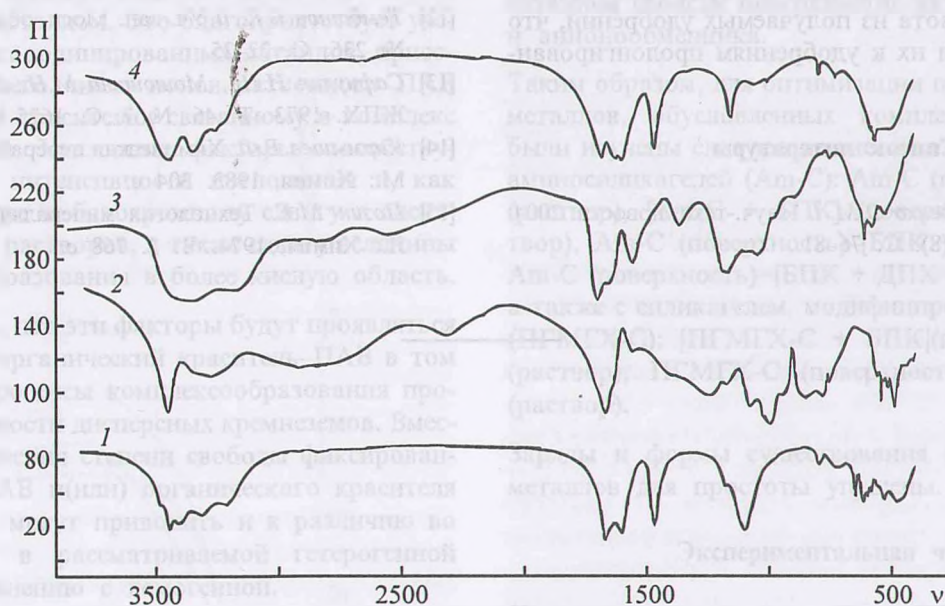


Рис. 5. ИК спектры аддуктов карбамида.

1 – $4\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{CaSO}_4$, 2 – $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$, 3 – $2\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$, 4 – $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$.

Наиболее подходящей областью частот для анализа является интервал $1700\text{--}1400\text{ см}^{-1}$. У карбамида в этой области наблюдается поглощение при 1680 , 1625 , 1598 и 1467 см^{-1} . На ИК спектре образца, не содержащего карбамид, и образца, содержащего 10% $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, присутствуют полосы, характерные для CaSO_4 (1153 , 674 , 615 , 595 см^{-1}) [5]. На ИК спектрах образцов с более высоким содержанием карбамида, кроме полос, характерных для сульфата кальция и апатита, присутствуют полосы в области частот колебаний связей N–H, C=O и C–N ($3500\text{--}3200$ и

$1700\text{--}1400\text{ см}^{-1}$), в частности при 1699 , $1650\text{--}1655$ и 1557 см^{-1} (рис. 4), отличающиеся от полос, характерных для карбамида, а также его аддуктов с сульфатом кальция и фосфорной кислотой. Для интерпретации этих данных были получены модельные соединения карбамида с H_2SO_4 , H_3PO_4 , CaSO_4 и записаны их ИК спектры (рис. 5). Сравнение ИК спектров этих соединений позволило сделать вывод о присутствии в высушенных суспензиях сульфата карбамида (3358 , 3185 , 1700 , 1655 , 1558 см^{-1}), образование которого и является главной причиной уменьше-

ния степени разложения апатита серной кислотой в присутствии карбамида.

Выводы

1. Установлено уменьшение скорости и степени сернокислотного разложения природных фосфатов в загустевающих суспензиях при введении карбамида совместно с кислотой на начальной стадии.
2. Основной причиной снижения степени разложения является образование аддукта сульфата карбамида.
3. При организации технологического процесса получения серосодержащих комплексных удобрений введение карбамида рекомендуется осуществлять после стадии кислотного разложения в кислые либо частично аммонизированные суспензии.
4. Введение карбамида оказывает существенное влияние на изменение фазового состава образующихся продуктов, а также на содержание и распределение различных форм фосфора. Протекание процессов аддуктообразования приводит к замедлению скорости растворения азота из получаемых удобрений, что позволяет отнести их к удобрениям пролонгированного действия.

Список литературы

- [1] Жмай Л.А., Сиденко О.М. // Науч.-техн. новости. 2004. Спец. вып. 5 (8). С. 76–81.
- [2] Лапа В.В. // Материалы Респ. науч.-практ. конф. Минск, 29 сент. 2005 г. Минск, 2005. С. 5–9.
- [3] Винник М.М. и др. Методы анализа фосфатного сырья, фосфорных и комплексных удобрений, кормовых фосфатов. М.: Химия, 1975. 216 с.
- [4] JCPDS International Centre for Diffraction Data 2003.
- [5] Жарский И.М., Воробьев Н.И., Мельникова Р.Я. и др. Свойства и методы идентификации веществ в неорганической технологии. Минск: Фонд фундамент. исслед., 1996. 372 с.
- [6] Шапкин М.А., Завертяева Т.И., Зинюк Р.Ю., Гуллер Б.Д. Двойной суперфосфат: Технология и применения. Л.: Химия, 1987. 216 с.
- [7] Орехов И.И., Власова Т.Л. // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 1976. Т. 19. № 4. С. 615–617.
- [8] Нурахметов Н.Н., Беремжанов Б.А. // ЖНХ. 1978. Т. 23. № 2. С. 504–514.
- [9] Казанский И.М., Мухля Г.С., Хардамова В.М., Наумов В.А. // ЖПХ. 1964. Т. 37. № 5. С. 1111–1116.
- [10] Беремжанов Б.А., Нурахметов Н.Н., Ташенов А., Суюндикова Ф.О. // ЖНХ. 1987. Т. 32. № 1. С. 256–259.
- [11] Lehr J.R., Brown E.H., Frazier A.W. et al. // Chem. Eng. Bull. 1967. N 6. P. 37.
- [12] Тембатов Б.К. // Уч. зап. Моск. обл. пед. ин-та. 1969. № 236. С. 22–25.
- [13] Сафиулин Н.Ш., Мошюшина М.Н., Бобыренко Ю.Я. // ЖПХ. 1973. Т. 46. № 7. С. 1625–1627.
- [14] Кармышев В.Ф. Химическая переработка фосфоритов. М.: Химия, 1983. 304 с.
- [15] Позин М.Е. Технология минеральных солей. В 2 ч. Л.: Химия, 1974. Ч. 2. 768 с.