© 2026 International Conference on Multidisciplinary Sciences and Innovations . All Rights Reserved.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ АЗОТНО-ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ ПУТЕМ ПЕРЕРАБОТКИ НИЗКОСОРТНЫХ МЕСТНЫХ ФОСФОРИТОВ

Шамшидинов И.Т., Рустамов И.Т., Нажмиддинов Р.Ю., Боситов М.А., Нишонов А.А., Исраилжонова С.К.
Наманганский государственный технический университет
Ташкентский фармацевтический институт

В глобальном масштабе производство высокоэффективных минеральных удобрений имеет важное стратегическое значение для увеличения объемов сельскохозяйственного производства и сохранения плодородия почв. В связи с этим совершенствование технологии получения фосфорсодержащих и комплексных удобрений на основе местного сырья является одной из актуальных задач химической промышленности. В то же время, ввиду ежегодного сокращения традиционных ресурсов высокосортных фосфатов, возрастает интерес к вовлечению в производство фосфорсодержащих удобрений относительно бедных, сложносоставных и низкосортных фосфатных руд [1, 2].

Переработка низкосортного фосфатного сырья (~20% P_2O_5) в экстракционную фосфорную кислоту (ЭФК) нерентабельна из-за чрезмерного расхода реагентов, высокой концентрации примесей и значительных эксплуатационных затрат. Ввиду этого данная руда применяется ограниченно, преимущественно в производстве простого суперфосфата. Однако получаемый традиционный суперфосфат характеризуется низким содержанием питательных веществ (9-11% P_2O_5 и 1-2% N), что существенно снижает экономическую эффективность его производства, а также повышает удельные затраты на логистику, упаковку и хранение готовой продукции [3].

Проблема вовлечения в производство сверхнизкосортного фосфатного сырья Шорсу (Узбекистан) обусловлена крайне низким содержанием целевого компонента (2-8% P_2O_5). Исследованный образец руды содержит 6,87% P_2O_5 и значительную долю магнезиально-кальциевых примесей, что делает невозможным его прямое использование. Создание инновационной технологической схемы переработки данной породы позволяет решить важную задачу получения комплексных концентрированных удобрений из местного некондиционного сырья.

В данном научном исследовании изучен технологический подход, основанный на разложении фосфоритов Шорсу с использованием экстракционной фосфорной кислоты, полученной из мытого обожженного фосфоритного концентрата (МОФК) Центральных Кызылкумов и предварительно активированной аммиачной селитрой (NH_4NO_3).

Процессы активации ЭФК в присутствии аммиачной селитры были подробно изучены ранее. Активация ЭФК (19,50% P_2O_5) осуществлялась введением аммиачной селитры в количестве 1,5% от массы кислоты, что позволяет интенсифицировать разложение некондиционной фосфоритной руды. Применение активированной ЭФК направлено на интенсификацию разложения низкосортного фосфатного сырья. Процессы последующей аммонизации и сушки полученной кислой фосфатной пульпы обеспечивают оптимизацию химического состава готового продукта, способствуя увеличению содержания азота при сохранении высокой доли усвояемых форм фосфатов

Исследование направлено на определение оптимального технологического режима переработки сверхнизкосортного фосфатного сырья Шорсу активированной фосфорной кислотой. Особое внимание уделено изучению влияния соотношения исходных компонентов,

© 2026 International Conference on Multidisciplinary Sciences and Innovations . All Rights Reserved.

условий аммонизации и сушки фосфатной пульпы на степень усвояемости P_2O_5 и качественные характеристики получаемого серосодержащего комплексного кальций- и магнийсодержащего тука.

В качестве фосфатного сырья использовали измельченную фосфоритную руду Шорсу (фракция <0,25 мм) со следующим составом (мас. %): P_2O_5=6,87; CaO=19,60; MgO=4,20; CO_2=13,63; 1,97=1,97; примеси Fe, Al, S. Разложение руды проводили дигидратной ЭФК (19,50% P_2O_5; 0,28% CaO; 0,85% MgO; 2,67% SO_3), полученной из концентрата Центральных Кызылкумов. Перед процессом термохимической деструкции осуществляли предварительную активацию ЭФК путем дозирования сухого промышленного нитрата аммония (NH_4NO_3).

Процесс получения азотно-фосфорного комплексного удобрения, содержащего макроэлементы кальций и магний, осуществляли в лабораторных условиях методом, аналогичным непрерывному процессу производства двойного суперфосфата. Методика проведения эксперимента включает стадии кислотной активации, разложения фосфорита, аммонизации фосфатной суспензии, выпаривания аммонизированной пульпы, а также её сушки и гранулирования при смешении с ретуром.

Процесс разложения фосфорита Шорсу экстракционной фосфорной кислотой, активированной нитратом аммония, осуществляют при массовом соотношении фосфорит:ЭФК (в пересчете на 100% P_2O_5) = 100:(80÷100), что соответствует 100÷120% от стехиометрической нормы кислоты, необходимой для образования монокальцийфосфата. Температура процесса разложения составляет 80°C, продолжительность – 90-120 минут. С целью обогащения азотом кислая суперфосфатная суспензия, полученная после разложения вторичного фосфата активированной ЭФК, нейтрализовалась газообразным аммиаком (NH_3) до достижения значения pH = 2,5-3,5.

Полученную аммонизированную суспензию выпаривают до тех пор, пока остаточная влажность не составит 20-25%. Одну часть выпаренной пульпы высушивают при температуре 100-105°C для использования в качестве ретура. Затем её смешивают с оставшейся частью пульпы до достижения влажности массы 8-10%. Полученную массу гранулируют и высушивают при температуре 100-105°C. Гранулы готового продукта просеивают и отбирают товарную фракцию заданного размера (2-4 мм). Крупную фракцию (размером более 4 мм) измельчают и смешивают с порошкообразной фракцией (размером менее 1 мм), образующейся в процессе просеивания; данная мелкая фракция возвращается в процесс в качестве ретура.

Эффективность перехода фосфатов в усвояемую для растений и водорастворимую формы оценивали по степени их перехода в усвояемую и водорастворимую формы (соответственно $K_{усв.}$ и $K_{в.р.}$), рассчитываемой по следующим формулам:

$$K_{усв.} = \frac{P_2O_{5усв.}}{P_2O_{5общ.}} \times 100, \qquad K_{в.р.} = \frac{P_2O_{5в.р.}}{P_2O_{5общ.}} \times 100$$

где: $P_2O_{5усв.}$ и $P_2O_{5в.р.}$ – содержание усвояемого растениями P_2O_5 и водорастворимого P_2O_5 фосфатов в продукте соответственно; $P_2O_{5общ.}$ – общее содержание P_2O_5 в удобрении.

При использовании активированной ЭФК с содержанием 19,50% P_2O_5 при массовом соотношении фосфорита к ЭФК, равном 100:80, после разложения в течение 1,5-2,0 часов (90-120 минут) степень перехода фосфатов в усвояемую форму ($K_{усв.}$) достигает 95,90%.

При нейтрализации газообразным аммиаком суспензии, полученной при массовом соотношении фосфорит : ЭФК (в пересчете на 100% P_2O_5) = 100:80, в определенной степени проявились обратные химические превращения, связанные с ретроградацией фосфора (переходом фосфатов в неусвояемую форму). При этом с изменением среды суспензии (по мере повышения показателя pH) легкоусвояемые растениями моно- и дикальцийфосфаты частично превращаются в малорастворимый трикальцийфосфат, что приводит к снижению

© 2026 International Conference on Multidisciplinary Sciences and Innovations . All Rights Reserved.

доли усвояемых фосфатов. В процессе аммонизации кислой суспензии наблюдается рост показателя pH с 3,2 до 3,5, а содержания P_2O_5 – с 19,26 до 19,98%. В результате ретроградации 2,01% части усвояемых фосфатов значение $K_{усв.}$ снижается с 95,90 до 93,89%. Наряду с этим доля водорастворимых фосфатов $K_{в.р.}$ также резко уменьшается с 74,97 до 68,92%.

Увеличение нормы ЭФК оказывает положительное влияние на степень разложения фосфорита. При повышении нормы кислоты в 1,25 раза по отношению к стехиометрическому количеству – то есть при доведении массового соотношения фосфорита к ЭФК до 100:100 – значение $K_{усв.}$ в кислой пульпе возрастает до 97,57%, а значение $K_{в.р.}$ – до 84,38%. При нейтрализации газообразным аммиаком кислой суспензии с показателем pH 2,4 до достижения значения pH 3,1, несмотря на наблюдаемый рост содержания $P_2O_{5общ.}$ с 19,81 до 20,86%, $P_2O_{5усв.}$ – с 19,33 до 20,12% и $P_2O_{5в.р.}$ – с 16,75 до 17,09%, отмечается снижение отношения количества усвояемых фосфатов к их общему количеству ($K_{усв.}$) с 97,57 до 96,45%, а доли водорастворимых фосфатов ($K_{в.р.}$) – с 84,38 до 81,93%.

Суспензии, полученные на стадии разложения природного фосфорита активированной ЭФК, содержали примерно 52-56% воды. В дальнейшем пульпу выпаривают, снижая содержание воды в ней до 20-25%, а при добавлении сухого удобрения в качестве ретура влажность снижается до 8-10%, после чего массу гранулируют и высушивают при температуре 100-105°C.

На стадии сушки кислых и аммонизированных пульп, полученных путем разложения фосфоритов Шорсу в активированной ЭФК, химическое равновесие в системе подвергается дальнейшим изменениям.

В процессе сушки фосфатных пульп может продолжаться дополнительное разложение содержащегося в них остаточного фосфорита. В результате, в зависимости от количества свободной кислоты, оставшейся в пульпе, доля усвояемого растениями P_2O_5 может незначительно увеличиваться. При сушке кислых и аммонизированных пульп, полученных при соотношении фосфорит : ЭФК = 100:80, при температуре 100-105°C значения $K_{усв.}$ полученных продуктов достигают 96,04% и 93,92% соответственно. По сравнению с соответствующими показателями исходных пульп данный прирост составляет всего 0,14% и 0,03% соответственно. Содержание свободного P_2O_5 в полученных кислом и аммонизированном продуктах составляет 1,76% и 0,41% соответственно.

Несмотря на то, что в результате аммонизации и последующей сушки суспензии, полученной путем разложения природного фосфорита в активированной ЭФК при массовом соотношении фосфорит : ЭФК (в пересчете на 100% P_2O_5) = 100:80, степень перехода фосфатов в усвояемую форму ($K_{усв.}$) составляет 93,92%, данный показатель оказывается ниже установленных требований к качеству. В связи с этим производство аммонизированного удобрения в таких условиях признано технологически нецелесообразным.

В отличие от этого, при сушке суспензии, полученной при том же массовом соотношении фосфорит : ЭФК (в пересчете на 100% P_2O_5) = 100:80, без предварительной аммонизации, значение $K_{усв.}$ в образующемся продукте составляет 96,04%. Наряду с этим содержание свободного P_2O_5 в продукте (1,76%) соответствует установленным технологическим требованиям. Исходя из этого, прямое высушивание кислой суспензии в данных условиях обеспечивает более высокую долю усвояемых фосфатов по сравнению со способом нейтрализации с последующей сушкой.

Таким образом, кислый продукт, полученный путем разложения фосфоритов Шорсу ЭФК, активированной аммиачной селитрой, при массовом соотношении фосфорит : ЭФК (в пересчете на 100% P_2O_5) = 100:80, с последующим выпариванием суспензии, гранулированием и сушкой, и имеющий следующий химический состав (в мас. %): $P_2O_{5общ.}$ = 41,40; $P_2O_{5усв.}$ =

© 2026 International Conference on Multidisciplinary Sciences and Innovations . All Rights Reserved.

39,76; $P_2O_{5в.р.}$ = 28,15; $P_2O_{5в.р.}$ = 1,76; K_2O = 0,36; CaO = 8,24; MgO = 5,02; N = 0,92; H_2O = 2,21 и др., отвечает установленным технологическим требованиям. Доля усвояемых фосфатов в продукте – $(P_2O_{5усв.}/P_2O_{5общ.})\cdot100$ составляет 96,04%, а доля водорастворимых фосфатов – $(P_2O_{5в.р.}/P_2O_{5общ.})\cdot100$ составляет 68,0%.

При увеличении нормы активированной ЭФК в 1,25 раза от стехиометрической [при массовом соотношении фосфорит : ЭФК (в пересчете на 100% P_2O_5) = 100:100] в процессе разложения природного фосфорита становится возможным повысить значение $K_{усв.}$ в полученном продукте на 2,48%, то есть довести его до 98,52%. Тем не менее, содержание свободного P_2O_5) в конечном продукте составляет 8,42%, что превышает установленную норму и, следовательно, ограничивает применимость данного продукта.

В данном случае – то есть при массовом соотношении фосфорит : ЭФК (в пересчете на 100% P_2O_5) = 100:100 – наиболее оптимальные результаты достигаются путем нейтрализации полученной кислой пульпы газообразным аммиаком. После аммонизации значение $K_{усв.}$ пульпы составляет 96,45%, а в процессе последующей сушки это значение незначительно возрастает и достигает 96,61%. При этом содержание свободного P_2O_5) в конечном продукте снижается до 3,57%. Полученное в этих оптимальных условиях кальций- и магнийсодержащее азотно-фосфорное удобрение демонстрирует наиболее благоприятное сочетание высокой усвояемости фосфатов и сниженной остаточной свободной кислотности.

Удобрение, полученное в этих условиях, имеет следующий химический состав (в мас. %): $P_2O_{5общ.}$ = 43,63; $P_2O_{5усв.}$ = 42,15; $P_2O_{5в.р.}$ = 34,24; $P_2O_{5своб.}$ = 3,57; K_2O = 0,41; CaO = 6,46; MgO = 4,54; N = 2,85; H_2O = 3,22. При этом доля усвояемых фосфатов в продукте – $(P_2O_{5усв.}/P_2O_{5общ.})\cdot100$ достигает 96,61%, а доля водорастворимых фосфатов – $(P_2O_{5в.р.}/P_2O_{5общ.})\cdot100$ составляет 78,48%.

Установлены оптимальные технологические параметры получения комплексного кальций-магнийсодержащего азотно-фосфорного удобрения на основе разложении сверхнизкосортных фосфоритов Шорсу активированной фосфорной кислотой: исходная концентрация активированной ЭФК – ~19% P_2O_5; норма ЭФК для разложения сырья – 125% от стехиометрии [массовое соотношение фосфорит:ЭФК (в пересчете на 100% P_2O_5) = 100:100]; температурный режим и продолжительность деструкции – 80°C в течение 90-120 минут; pH нейтрализации полученной суспензии газообразным аммиаком – 2,5-3,0; сушка и гранулирование пульпы при температуре 100-105°C.

Таким образом, разработанный способ химической переработки обеспечивает эффективную утилизацию некондиционного фосфатного сырья Шорсу с получением концентрированного многокомпонентного тука, сбалансированного по макро- (N, P) и мезоэлементам (Ca, Mg).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шамшидинов И.Т. Переработка фосфоритов Каратау и Центральных Кызылкумов на экстракционную фосфорную кислоту и концентрированные фосфорсодержащие удобрения. – М.: Издательство Lambert Academic Publishing, 2021. – 225 с.
2. Шамшидинов И.Т. Разработка усовершенствованной технологии производства экстракционной фосфорной кислоты и получения концентрированных фосфорсодержащих удобрений из фосфоритов каратау и Центральных Кызылкумов. Диссертация доктора технических наук (DSc). – Ташкент: ИОНХ АН РУз, 2017. – 193 с.
3. Kodirova G., Shamshidinov I., Sultonov B., Najmiddinov R., Mamurov B. Investigation of the Process of Purification of Wet-Process Phosphoric Acid and Production of Concentrated Phosphoric Fertilizers Based on It // Chemical Science International Journal / 2021, 30(1). – P. 1-10.