

ПОЛУЧЕНИЕ ФОСФОРНО-КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛИЗОВАННОГО МАССА И НИТРАТА КАЛИЯ

*Олимова Ойдина Оролмирза кизи
заведующая лабораторией
Наманганский государственный технический университет
Собиров Мухторжон Махаммаджанович
доктор философии (PhD) по техническим наукам, доцент
Наманганский государственный технический университет*

Аннотация. В статье представлены результаты исследований по получению комплексных фосфорно-калийных удобрений на основе минерализованной массы, являющейся отходом переработки фосфатного сырья, и нитрата калия. Минерализованную массу разлагали азотной кислотой при 70–100 % от стехиометрической нормы. После отделения нитрата кальция фильтрацией полученную нитратно-фосфатную суспензию обрабатывали экстракционной фосфорной кислотой и нитратом калия. Исследовано влияние нормы азотной кислоты и соотношения фосфорсодержащего и калийного компонентов на химический состав конечного продукта. Установлено, что изменение расхода нитрата калия позволяет регулировать соотношение $P_2O_5:K_2O$ в широком диапазоне. Полученные удобрения содержат до 27,1 % общего P_2O_5 , до 27,13 % K_2O и характеризуются высокой долей усвояемых форм питательных веществ. Результаты исследований подтверждают перспективность использования отходов фосфатного производства для получения эффективных комплексных удобрений.

Ключевые слова: минерализованная масса, фосфатные отходы, азотная кислота, нитрат калия, экстракционная фосфорная кислота, комплексные удобрения, фосфор, калий.

PRODUCTION OF PHOSPHORUS-POTASSIUM FERTILIZERS BASED ON MINERALIZED MASS AND POTASSIUM NITRATE

*Olimova Oydina Orolmirza qizi
Head of the Laboratory
Namangan State Technical University
Sobirov Mukhtorjon Makhammadjanovich
Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences, Associate Professor
Namangan State Technical University*

Abstract. The article presents the results of research on the production of complex phosphorus-potassium fertilizers based on mineralized mass, which is a waste product of phosphate raw materials processing, and potassium nitrate. The mineralized mass was decomposed with nitric acid at 70–100% of the

stoichiometric norm. After separating calcium nitrate by filtration, the resulting nitrate-phosphate suspension was treated with wet-process phosphoric acid and potassium nitrate. The effect of the nitric acid rate and the ratio of phosphorus-containing and potassium components on the chemical composition of the final product was studied. It was established that changing the consumption of potassium nitrate allows for regulating the $P_2O_5:K_2O$ ratio over a wide range. The obtained fertilizers contain up to 27.1% of total P_2O_5 , up to 27.13% of K_2O , and are characterized by a high proportion of available forms of nutrients. The research results confirm the feasibility of using phosphate production waste to obtain effective complex fertilizers.

Keywords: *mineralized mass, phosphate waste, nitric acid, potassium nitrate, wet-process phosphoric acid, complex fertilizers, phosphorus, potassium.*

Введение. В настоящее время в химической промышленности Республики Узбекистан основную долю занимает производство азотных удобрений, однако объёмы выпуска фосфорных и калийных удобрений также последовательно увеличиваются. По данным АО «Узкимёсаноат», в 2025 году в республике было произведено более 1,45 млн тонн минеральных удобрений, из которых 121 тыс. тонн пришлось на фосфорные и 220 тыс. тонн – на калийные удобрения [1].

В последние годы реализуются инвестиционные проекты, направленные на развитие производства комплексных фосфорно-калийных удобрений. В частности, между Узбекистаном и Иорданией достигнуты договорённости о реализации совместных проектов по производству калийных и фосфорных удобрений. Это создаёт благоприятные условия для внедрения современных технологий, расширения ассортимента выпускаемой продукции и повышения экспортного потенциала отрасли [2].

Одновременно расширяются научно-исследовательские работы, посвящённые разработке новых комплексных удобрений на основе низкосортных фосфоритов, минерализованной массы и местных калийсодержащих компонентов. Данное направление имеет важное значение для производства импортозамещающей продукции, комплексного использования сырьевых ресурсов и повышения агрохимической эффективности минеральных удобрений.

Бу таржима илмий мақола услубида тайёрланди ва рус тилидаги журналлар талабларига мос келади.

Материалы и методы исследования. Для проведения лабораторных исследований использовали отход фосфатного производства — минерализованную массу следующего химического состава, мас. %: P_2O_5 общ. – 11,84; CaO – 44,71; MgO – 2,06; CO_2 – 19,06; R_2O_3 – 3,18; SO_3 – 1,97; F – 1,47; H_2O – 1,46; нерастворимый остаток – 9,21.

Разложение минерализованной массы осуществляли 59%-ной азотной кислотой в трубчатом стеклянном реакторе при непрерывном перемешивании. В связи с высоким содержанием кальцита в исходном сырье

во избежание интенсивного пенообразования азотную кислоту подавали постепенно в течение 15–20 минут до её полного расходования на процесс разложения. При этом между кислотой и минерализованной массой происходило интенсивное взаимодействие с образованием нитратно-фосфатной пульпы. Норму азотной кислоты варьировали в пределах 70–100 % от стехиометрически необходимого количества.

После завершения процесса разложения из нитратно-фосфатной пульпы отделяли нитрат кальция методом фильтрации. Для предотвращения потерь соединений фосфора перед фильтрованием пульпу предварительно нейтрализовали газообразным аммиаком.

Для получения фосфорно-калийных удобрений в суспензию, полученную при разложении фосфатного концентрата экстракционной фосфорной кислотой (ЭФК), вводили нитрат калия производства АО «Навоиазот». Полученную массу подвергали сушке и гранулированию, в результате чего получали гранулированные фосфорно-калийные удобрения.

Содержание общего, аммонийного и нитратного азота определяли согласно методикам, приведённым в работах [3–6]. Определение общего азота основано на восстановлении нитратного азота до аммонийной формы сплавом Дебарда с последующей отгонкой аммиака и его титриметрическим определением.

Массовую долю аммонийного азота определяли хлораминовым методом, основанным на окислении аммонийного азота до элементарного азота в присутствии хлорамина, бромида калия и фосфатного буферного раствора с рН 6,7. Избыток хлорамина определяли йодометрическим титрованием.

Содержание нитратного азота определяли методом восстановления в кислой среде раствором сульфата железа (II) в присутствии молибдата аммония в качестве катализатора с последующим титрованием избытка Fe^{2+} раствором перманганата калия.

Фосфатные соединения определяли дифференциальным фотометрическим методом [3], основанным на образовании жёлтого ванадиево-молибденового комплекса фосфора и измерении его оптической плотности при длине волны 440 нм относительно стандартного раствора с известным содержанием P_2O_5 . Общие фосфаты извлекали азотной кислотой, усвояемые формы — раствором лимонной кислоты и трилона Б, а водорастворимые формы — дистиллированной водой.

Содержание калия в исходном сырье и полученных образцах определяли методом пламенной фотометрии [7].

Массовые доли кальция и магния определяли комплексометрическим методом [3, 8], основанным на взаимодействии ионов кальция и магния с раствором трилона Б в присутствии индикатора. Содержание сульфатов определяли гравиметрическим методом [9] путём осаждения их хлоридом бария в кислой среде с последующим взвешиванием осадка.

Содержание железа и алюминия определяли комплексонометрическим методом [3, 10], а хлорид-ионов — методом Мора. Фильтрацию пульпы на экспериментальном этапе осуществляли с использованием вакуумного насоса марки КСЛ-1206-5.

Содержание фтора определяли ионометрическим методом после разложения образцов азотной кислотой [3, 11]. Метод основан на непосредственном измерении концентрации фторид-ионов в растворе с использованием фторселективного электрода.

Количество диоксида углерода в карбонатах определяли экспрессным объёмным методом [12], основанным на разложении карбонатов соляной кислотой и измерении объёма выделившегося углекислого газа.

Содержание влаги в твёрдых образцах определяли высушиванием до постоянной массы при температуре 100–105 °С в сушильном шкафу согласно стандартной методике [13].

Бу вариант илмий рус тили услубида қайта ишланган бўлиб, журнал мақолалари учун мослаштирилган. Ортиқча такрорлар қискартирилди ва матн академик услубга келтирилди.

Результаты исследований и их обсуждение. Химический состав полученных гранулированных фосфорно-калийных удобрений был исследован в зависимости от нормы азотной кислоты и соотношения исходных компонентов (таблица 1).

Таблица 1

Химический состав фосфорно-калийных удобрений, полученных при переработке фосфатного концентрата экстракционной фосфорной кислотой и нитратом калия, %

P ₂ O ₅ : K ₂ O	N			P ₂ O ₅		CaO			K ₂ O	H ₂ O
	общ.	амм.	нитр.	общ.	усв.	общ.	усв.	вод.		
Стехиометрические нормы реагентов: HNO ₃ – 70 %; ЭФК – 100 %.										
1:2	8,77	0,51	8,27	13,57	12,66	7,53	7,12	7,12	27,13	1,01
1:1	7,21	0,76	6,45	20,34	18,99	11,29	10,69	10,67	20,34	1,17
1:0,7	6,38	0,89	5,49	23,95	22,35	13,30	12,58	12,57	16,77	1,17
1:0,5	5,63	1,01	4,62	27,10	25,29	15,04	14,23	14,22	13,55	1,40
Стехиометрические нормы реагентов: HNO ₃ – 80 %; ЭФК – 100 %.										
1:2	8,93	0,76	8,17	13,30	12,61	7,75	7,28	7,26	26,60	1,07
1:1	7,49	1,14	6,35	19,77	18,75	11,53	10,82	10,80	19,77	1,14
1:0,7	6,74	1,33	5,41	23,16	21,96	13,50	12,68	12,65	16,21	1,13
1:0,5	6,07	1,50	4,57	26,09	24,74	15,21	14,28	14,25	13,05	1,35
Стехиометрические нормы реагентов: HNO ₃ – 90 %; ЭФК – 100 %.										
1:2	9,11	1,10	8,01	12,91	12,52	8,08	7,51	7,49	25,83	1,19
1:1	7,83	1,61	6,22	18,97	18,40	11,88	11,04	11,01	18,97	1,09
1:0,7	7,17	1,87	5,30	22,07	21,40	13,82	12,84	12,80	15,45	1,08
1:0,5	6,58	2,10	4,48	24,72	23,97	15,47	14,38	14,34	12,36	1,28

Стехиометрические нормы реагентов: HNO_3 – 100 %; ЭФК – 100 %.										
1:2	9,46	1,65	7,81	12,45	12,43	8,37	7,67	7,66	24,89	1,28
1:1	8,41	2,38	6,03	18,02	18,00	12,12	11,10	11,09	18,02	1,03
1:0,7	7,88	2,75	5,14	20,79	20,77	13,99	12,81	12,79	14,55	1,01
1:0,5	7,42	3,06	4,36	23,12	23,09	15,56	14,24	14,23	11,56	1,19

Анализ результатов показал, что состав конечного продукта в значительной степени определяется как расходом азотной кислоты, так и соотношением фосфор- и калийсодержащих компонентов.

Установлено, что с уменьшением соотношения Р содержание общего P_2O_5 в удобрении возрастает. Так, при норме азотной кислоты, соответствующей 70 % от стехиометрической, содержание общего P_2O_5 увеличилось с 13,57 % при соотношении компонентов 1:2 до 27,10 % при соотношении 1:0,5. Аналогичная закономерность наблюдалась и при других нормах кислоты. Это объясняется снижением доли нитрата калия и соответствующим увеличением концентрации фосфорсодержащих соединений в продукте.

Следует отметить, что доля усвояемых форм фосфора составляла 90–98 % от общего содержания P_2O_5 . Высокое содержание доступных форм фосфора свидетельствует о значительной агрохимической эффективности полученных удобрений.

Содержание калия изменялось в противоположном направлении. При увеличении доли нитрата калия возрастала концентрация K_2O в готовом продукте. Например, при норме азотной кислоты 70 % содержание общего K_2O составляло 27,13 % при соотношении 1:2 и снижалось до 13,55 % при соотношении 1:0,5. Таким образом, изменяя количество нитрата калия, можно целенаправленно регулировать соотношение $\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}$ в широком диапазоне. При соотношении 1:2 формируются калийобогащённые марки РК-удобрений, тогда как при соотношении 1:0,5 получают концентрированные фосфорсодержащие продукты (рис.1).

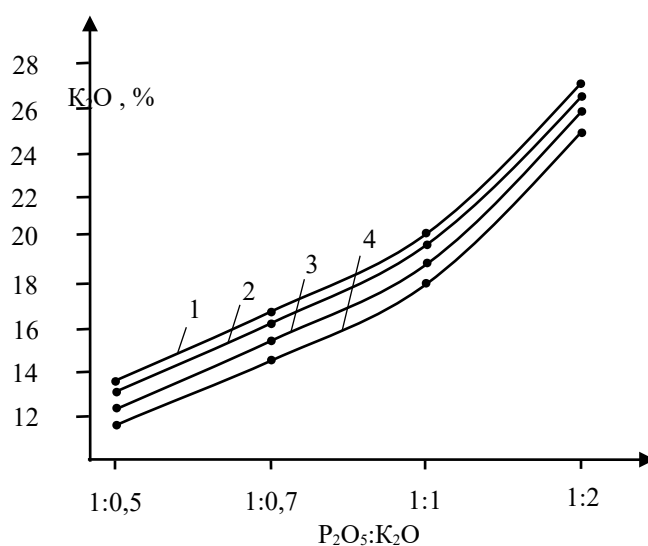


Рисунок 1. Влияние нормы азотной и фосфорной кислот, а также соотношения P_2O_5O на содержание калия в составе фосфорно-калийного удобрения. Стехиометрические нормы $HNO_3/ЭФК$ составляют: 1 – 70/100 %; 2 – 80/100 %; 3 – 90/100 %; 4 – 100/100 %.

Повышение нормы азотной кислоты оказало существенное влияние на содержание азота в удобрениях. При увеличении нормы кислоты с 70 до 100 % содержание общего азота во всех образцах возрастало. Так, для образца с соотношением 1:0,5 содержание общего азота увеличилось с 5,63 до 7,42 %. Особенно заметно возросла доля аммонийного азота — с 1,01 до 3,06 %. Данный эффект обусловлен увеличением количества азотной кислоты, участвующей в процессе переработки сырья. В результате полученные продукты приобретают не только фосфорно-калийные, но и частично азотно-фосфорно-калийные свойства.

Несмотря на некоторое снижение общего содержания P_2O_5 при увеличении нормы азотной кислоты, доля усвояемых форм фосфора оставалась высокой. Например, при соотношении 1:0,5 содержание общего P_2O_5 уменьшилось с 27,10 до 23,12 %, тогда как количество усвояемого фосфора практически не изменилось. Это связано с более глубоким превращением кальциевых фосфатов в монокальцийфосфат при повышенной кислотности среды.

Важным показателем является содержание оксида кальция. В исследованных образцах его концентрация изменялась в пределах 7,53–15,56 %. С увеличением содержания фосфора наблюдался рост количества кальция, поскольку он входит в состав фосфатных соединений. Кроме того, повышение кислотности способствует переходу части кальция в более реакционноспособные нитратные и дигидрофосфатные формы. Наличие кальция положительно влияет на физико-механические свойства удобрений, улучшая прочность гранул и их устойчивость при хранении.

Установлено также, что практически весь калий находится в водорастворимой форме. Доля водорастворимого K_2O составляла 95–100 % от общего содержания калия, что обеспечивает его высокую доступность для растений. В сочетании с высоким содержанием усвояемого фосфора это позволяет отнести полученные продукты к числу эффективных комплексных РК-удобрений.

Влажность готовых удобрений находилась в пределах 1,01–1,40 %. Низкое содержание влаги свидетельствует об эффективности процесса сушки и обеспечивает хорошие эксплуатационные свойства продукции. Незначительное увеличение влажности при повышении нормы азотной кислоты не оказывает существенного влияния на качество продукта. Низкая влажность способствует сохранению сыпучести удобрений и предотвращает их слеживаемость при хранении.

Заключение. Результаты проведённых исследований показали возможность получения высокоэффективных фосфорно-калийных удобрений на основе фосфатного концентрата, экстракционной фосфорной кислоты и

нитрата калия. Установлено, что изменение расхода нитрата калия позволяет регулировать соотношение $P_2O_{52}O$ в широком диапазоне, а увеличение нормы азотной кислоты способствует обогащению продукта азотным компонентом. Полученные удобрения характеризуются высоким содержанием усвояемых форм фосфора и водорастворимого калия, что обеспечивает их высокую агрохимическую эффективность и перспективность промышленного применения.

Агар мақолани рус тилидаги журналга топширмакчи бўлсангиз, адабиётлар рўйхатини ҳам рус тилида ва библиографик талабларга мувофиқ шакллантириш мақсадга мувофиқ бўлади.

Список использованной литературы

1. Отчёт о деятельности АО «Узкимёсаноат» за 2025 год. – Ташкент, 2025. – URL: <https://uzkimyosanoat.uz> (дата обращения: 03.06.2026).
2. Uzbekistan and Jordan agree on joint mineral fertilizer production projects // Uzdaily. – 2025. – 29 August. – URL: <https://www.uzdaily.uz> (дата обращения: 03.06.2026).
3. Винник М.М., Ербанова Л.Н. и др. Методы анализа фосфатного сырья, фосфорных и комплексных удобрений, кормовых фосфатов. – М.: Химия, 1975. – 218 с.
4. ГОСТ 30181.4–94. Удобрения минеральные. Метод определения суммарной массовой доли азота, содержащегося в сложных удобрениях и селитрах в аммонийной и нитратной формах (метод Деварда). – М.: Издательство стандартов, 1996. – 8 с.
5. ГОСТ 30181.8–94. Удобрения минеральные. Метод определения массовой доли аммонийного азота в сложных удобрениях (хлораминовый метод). – М.: Издательство стандартов, 1996. – 6 с.
6. ГОСТ 30181.3–94. Удобрения минеральные. Метод определения массовой доли азота в удобрениях, содержащих азот в нитратной форме. – М.: Издательство стандартов, 1996. – 6 с.
7. Стифатов Б.М., Рублинецкая Ю.В. Пламенная фотометрия: методические указания к лабораторной работе. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2013. – 13 с.
8. ГОСТ 24596.4–81. Фосфаты кормовые. Методы определения кальция. – М.: Издательство стандартов, 2004. – 3 с.
9. ГОСТ 24024.12–81. Фосфор и неорганические соединения фосфора. Методы определения сульфатов. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 4 с.
10. ГОСТ 22275–90. Концентрат апатитовый. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 18 с.
11. ГОСТ 24596.7–81. Фосфаты кормовые. Методы определения фтора. – М.: Издательство стандартов, 2004. – 5 с.

- 12.ГОСТ 13455–91. Топливо твёрдое минеральное. Методы определения диоксида углерода карбонатов. – М.: Издательство стандартов, 2003. – 11 с.
- 13.ГОСТ 20851.4–75. Удобрения минеральные. Методы определения воды. – М.: Издательство стандартов, 2000. – 5 с.