

УДК 546

ИССЛЕДОВАНИЕ СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО УДОБРЕНИЯ МЕТОДОМ АЗОТНОКИСЛОТНОГО ВСКРЫТИЯ ПРИРОДНЫХ ФОСФАТОВ

Александров И.В., студент гр. ИХби-242, ИХНТ
Научный руководитель: Тихомирова А.В., к.х.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Комплексные удобрения являются неотъемлемой частью современной сельскохозяйственной деятельности. За период с 2014 года по 2024 количество вносимых удобрений в России увеличилось в 1,8 раз (с 1,9 млн. т. до 3,5 млн. т.).[1-2] За тот же период сбор зерновых и зернобобовых культур вырос со 105,2 млн. т. до 125,9 млн. т.[3-4] Данный пример демонстрирует не только способность комплексных удобрений сохранять плодородность почв, но и повышать ее на протяжении длительного времени.

Вышеприведенные аргументы говорят об актуальности, эффективности и востребованности применения комплексных удобрений в нашей стране.

Одним из способов получения комплексных удобрений является вскрытие фосфоросодержащих минералов азотной кислотой. Это позволяет перевести фосфор в растворимые соли, а также насытить удобрение соединениями азота.

В данной работе в качестве объекта исследования был выбран фосфорит Каратау. Среди фосфоросодержащих минералов выделяют апатиты и фосфориты. Состав их практически идентичен, однако апатиты являются полезными ископаемыми магматического происхождения, а фосфориты осадочного. Апатиты обладают более постоянным составом, в молекуле фосфорного минерала фосфоритов зачастую присутствует карбонатная группа, которая будет влиять на ход процесса получения комплексного азотно-фосфорного удобрения.

Поэтому перед началом вскрытия необходимо было провести анализ на содержание фосфора, его соединений, а также других веществ. Данная процедура покажет целесообразность использования исследуемого минерала к переработке в комплексное удобрение.

Элементный анализ образца фосфорита Карата (сырья) проводили на волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре «СПЕКТРОСКАН МАКС-GVM». Принцип действия спектрометра основан на том, что анализируемая проба облучается низкоэнергетическим рентгеновским излучением. При этом возникает вторичное флуоресцентное рентгеновское излучение, энергетический спектр которого характеризует элементный состав анализируемой пробы. Анализируя энергетический спектр флуоресцентного излучения пробы, определяют наличие и концентрацию в ней различных элементов [5]. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты элементного анализа образца фосфомуки Каратау

Образец	Mg, %	Al, %	Si, %	P, %	S, %	K, %	Ca, %	
Фосфорит	2,08	2,07	14,69	7,61	0,18	0,68	19,58	
Образец	Ti, %	V, %	Cr, %	Mn, %	Fe, %	Ni, %	Sr, %	Pb, %
Фосфорит	0,10	0,001	0,007	0,084	1,00	0,002	0,105	0,004

Таким образом, из таблицы 1 видно, что фосфора в образце 7,61%. Что в пересчёте на P_2O_5 составляет 34,84%. При среднем содержании P_2O_5 в фосфоритах Каратау около 25%. [6]

Возможные химические реакции определяются молекулярным составом сырья. Для определения молекулярного состава был использован метод рентгеновской дифракции. Рентгеновская дифракция — это физическое явление, при котором рентгеновские лучи, проходя через кристаллическую структуру вещества, отклоняются в определенных направлениях из-за взаимодействия с электронами атомов. Возникающий в результате этого дифракционный узор позволяет определить атомную и молекулярную структуру кристалла.

Определение производилось на дифрактометре рентгеновском «Колибри». Принцип действия дифрактометров основан на явлении дифракции рентгеновских лучей от атомных плоскостей кристаллической решетки исследуемого вещества в соответствии с законом Вульфа-Брэгга. В дифрактометрах реализована рентгенооптическая схема Брэгга-Брентано с θ - θ гониометром вертикальной конструкции радиусом 150 мм при горизонтальном расположении образца. Регистрация дифракционной картины осуществляется при синхронном повороте детектора и рентгеновской трубки относительно главной оси гониометра навстречу друг другу. Для обеспечения условий фокусировки угловая скорость поворота детектора равна угловой скорости поворота рентгеновской трубки. Реализованы два режима сканирования: дискретный и непрерывный [7].

Таблица 2 – Фазовый состав фосфорита Каратау

№ п/п	Фаза	Содержание (масс., %)
1	Фторапатит $Ca_5(PO_4)_3F$	37,02
2	Андрадит $Ca_5Fe_2(SiO_4)_3$	15,93
3	Кварц SiO_2	14,35
4	Гидроксид-фосфат кальция $Ca_{10}(PO_4)_5(CO_3) \cdot (OH)_2$	16,97
5	Гематит Fe_2O_3	7,96
6	Кальцит $CaCO_3$	2,16
7	Доломит $CaMg(CO_3)_2$	5,60

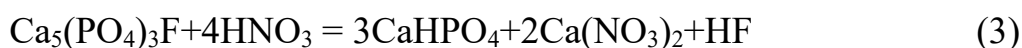
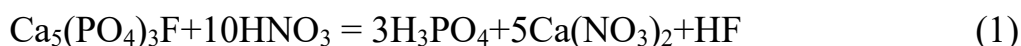
Рентгенограммы снимались с шагом 0,02 в интервале 5-80 2θ с вращением 60 об./мин и выдержкой 1,0 с в точке. Эксперимент выполнялся при стандартных

условиях с использованием $\text{CuK}\alpha$ -излучения. Напряжение на трубке – 40 кВт, ток – 30 мА.

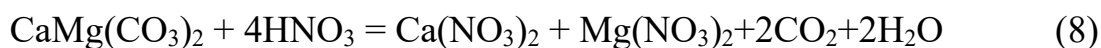
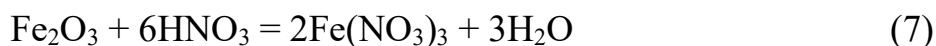
Результаты рентгенофазового анализа образца сырья представлены в таблице 2.

После обработки результатов анализа были выявлены следующие фосфорсодержащие минералы: фторапатит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ и гидроксид-фосфат кальция $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_5(\text{CO}_3) \cdot (\text{OH})_2$. Суммарная массовая доля данных минералов составляет 53,99% от пробы.

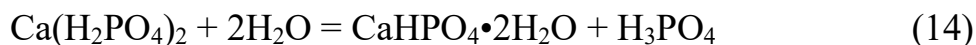
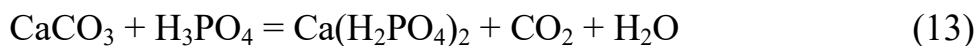
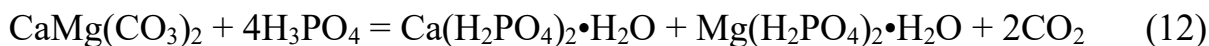
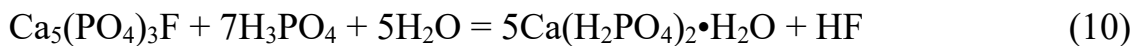
Согласно рентгенофазовому анализу при вскрытии муки азотной кислотой возможны следующие основные реакции:

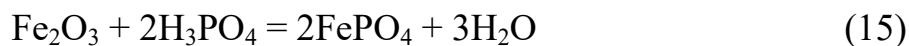


Карбонатные минералы и оксиды трехвалентных металлов также реагируют с азотной кислотой с образованием азотных солей.



Также следует учесть возможность взаимодействия продуктов реакций друг с другом и с исходными веществами.





Таким образом, в сырье содержится достаточное количество фосфора и оно пригодно для получения комплексного азотно-фосфорного удобрения, однако, ввиду многокомпонентности сырья, возможен ряд побочных процессов, которые приводят к вредным выбросам в атмосферу, вспениванию при вскрытии минерала и переводу фосфора в неусвояемое состояние. Эти факторы необходимо учесть при разработке технологии.

Список использованных источников

1. Внесение удобрений под урожай 2018 года и проведение работ по химической мелиорации земель // Росстат URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/udobr18.rar> (дата обращения: 18.02.2026).
2. Внесение удобрений под урожай 2024 года, проведение работ по химической мелиорации земель и применяемые почвозащитные агротехнологии // Росстат URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Vnesen_udobren_2024.xlsx (дата обращения: 18.02.2026).
3. Валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2018 году // Росстат URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/VAL1.rar> (дата обращения: 18.02.2026).
4. Валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур по Российской Федерации в 2024 году // Росстат URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Vall_2024.xlsx (дата обращения: 18.02.2026).
5. Экспертное заключение на аппарат рентгеновский для спектрального анализа СПЕКТРОСКАН МАКС-GVM. // Рентгеновские спектрометры и анализаторы URL: <https://spectronxray.ru/upload/iblock/333/Ekspertnoe-zaklyuchenie-po-radiatsionnoy-bezopasnosti-GVM-ot-16.04.2019.pdf> (дата обращения: 18.02.2026).
6. Геохимия минералов фосфоритовых месторождений // КиберЛенинка URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geohimiya-mineralov-fosforitovyh-mestorozhdeniy-1> (дата обращения: 18.02.2026).
7. Дифрактометры рентгеновские Колибри // ALL-Pribors.ru URL: <https://all-pribors.ru/opisanie/88547-23-kolibri#download> (дата обращения: 18.02.2026).