

**РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ АММОФOSFATНЫХ ПУЛЬП  
НА ОСНОВЕ ФОСФОРСОДЕРЖАЩЕЙ МИНЕРАЛИЗОВАННОЙ МАССЫ  
ЦЕНТРАЛЬНО-КЫЗЫЛКУМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**Ортикова Сафие Саидмамбиевна**

*доктор философии (PhD), старший преподаватель кафедры «Химическая технология»,  
Ферганский политехнический институт,  
100170, Узбекистан, г. Фергана, Ферганская, 86<sup>«а»</sup>  
E-mail: [ortikova.sofiya@mail.ru](mailto:ortikova.sofiya@mail.ru)*

**Ибрагимов Акмал Акрамович**

*ассистент кафедры «Химическая технология», Ферганский политехнический институт,  
100170, Узбекистан, г. Фергана, Ферганская, 86<sup>«а»</sup>  
E-mail: [samo2089@mail.ru](mailto:samo2089@mail.ru)*

**Мирсалимова Саодат Рахматжановна**

*канд. хим. наук., доцент кафедры «Химическая технология», Ферганский политехнический институт,  
100170, Узбекистан, г. Фергана, Ферганская, 86<sup>«а»</sup>  
E-mail: [ortikova.sofiya@mail.ru](mailto:ortikova.sofiya@mail.ru)*

**RHEOLOGICAL INDICATORS OF AMMOPHOSPHATE PULPS BASED  
ON THE PHOSPHORAL-CONTAINING MINERALIZED MASS  
OF THE CENTRAL-KYZYLKUM DEPOSIT**

**Safiye Ortikova**

*Doctor of Philosophy, PhD, Senior Lecturer of «Chemical Technology» Chair, Ferghana Polytechnic Institute,  
Uzbekistan, Ferghana*

**Akmal Ibragimov**

*Assistant of «Chemical Technology» Chair, Ferghana Polytechnic Institute,  
Uzbekistan, Ferghana*

**Saodat Mirsalimova**

*Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of «Chemical Technology» Chair, Ferghana Polytechnic Institute,  
Uzbekistan, Ferghana*

**АННОТАЦИЯ**

В настоящем исследовании приводятся результаты исследований по изучению реологических характеристик (плотность и вязкость) как не упаренной, так и упаренной аммофосфатных пульп, полученных разложением фосфорсодержащей минерализованной массы Центрально-Кызылкумского месторождения фосфорной кислотой с последующим разделением кальцийфосфатной пульпы на твердую и жидкую фазы и нейтрализацией последней до pH 4,0-4,5. Установлено влияние нормы экстракционной фосфорной кислоты, pH среды и температуры на плотность и вязкость упаренной и не упаренной аммофосфатных пульп. Реологические характеристики аммофосфатных пульп обуславливают их подвижность, что позволяет проводить их перекачку без особых затруднений на технологическом оборудовании.

**ABSTRACT**

In research results of studies on the rheological characteristics (density and viscosity) of both unevaporated and evaporated ammophosphate pulps obtained by decomposing the phosphorus-containing mineralized mass of the Central-Kyzylkum deposit with phosphoric acid, followed by separation of the calcium phosphate pulp into solid and liquid phases and before ammonizing the latter to pH 4,0-4,5 are presented. The influence of the norm of extraction phosphoric acid, pH of the medium, and temperature on the density and viscosity of evaporated and unevaporated ammophosphate pulps has been established. Obtained values of the rheological characteristics justify the mobility of ammophosphate pulps, which will ensure their pumping without special difficulties on technological equipment.

**Ключевые слова:** фосфорсодержащая минерализованная масса, фосфорная кислота, аммофосфатная пульпа, процесс аммонизации, плотность, вязкость.

**Keywords:** phosphorus-containing mineralized mass; phosphoric acid; ammophosphate pulp; ammonation process; density; viscosity.

Прослеживаемая мировая тенденция естественного снижения среднего содержания  $P_2O_5$  в фосфатном сырье приводит к необходимости все большего обращения к бедной фосфатно-сырьевой базе. Проблема эффективной переработки низкосортного фосфатного сырья на концентрированные фосфорсодержащие удобрения остается актуальной и усложняется с ростом производства фосфорсодержащих минеральных удобрений. В настоящее время основным промышленно значимым источником фосфатного сырья в Узбекистане остается фосфоритовая руда Джерой-Сардаринского месторождения, получаемый из нее концентрат содержит около 26%  $P_2O_5$  [3,4]. По своему составу это бедное сырьё, а его переработка представляет серьезные трудности. Это сопряжено низким содержанием целевого компонента в сырье, высоким количеством разнообразных примесных пород: карбонатов, глинистых минералов, нерастворимого остатка, зачастую тесно сросшимися с фосфатным минералом. Такое сырье трудно или вовсе необогатимо существующими методами, а эффективных способов его прямой переработки нет. В связи с этим изыскания нетрадиционных методов технологической переработки низкосортного фосфатного сырья является задачей, требующей особого внимания.

С целью улучшения качества и ассортимента фосфорсодержащих минеральных удобрений на базе низкосортных фосфоритов и установлению реологических свойств пульп, нами было исследовано получение аммофосфата с высоким содержанием питательных компонентов. Исходным сырьём являлась фосфорсодержащая минерализованная масса, являющаяся отходом, образующимся при переработке фосфоритовых руд Центрально-Кызылкумского месторождения и экстракционная фосфорная кислота производства АО «Аммофос-Максам» [5,6]. На последующем этапе исследований предприняли технологический подход, обусловленный тем, что в одном технологическом цикле можно получить сразу два вида продуктов, как одинарные фосфорные, так и комплексные минеральные удобрения. Процесс их получения состоит из следующих основных технологических стадий: 1) Разложение фосфатного сырья экстракционной фосфорной кислотой; 2) Разделение кислой фосфатной пульпы на жидкую и твердую фазы; 3) Грануляция и сушка твердой фазы методом интенсивного окатывания с получением одинарного фосфорного удобрения; 4) Аммонизация жидкой фазы аммиаком до pH = 4.0-4.5 с последующей грануляцией и сушкой продукта с получением NPCa-удобрения [7].

Целью настоящего исследования явилось определение реологических свойств (плотности и вязкости) неупаренных и упаренных аммофосфатных

пульп при температурах 30-80°C, полученных из жидкой фазы кальцийфосфатной пульпы.

**Объекты и методы исследования.** Объектами исследования явились фосфорсодержащая минерализованная масса Центрально-Кызылкумского месторождения (вес. %): 14,33%  $P_2O_5$ ; 43,66 CaO; 1,19 MgO; 1,38  $Fe_2O_3$ ; 1,18  $Al_2O_3$ ; 1,75 F; 2,22  $SO_3$ ; 14,70  $CO_2$  и ЭФК АО «Аммофос-Максам» состава, (вес. %): 14,32  $P_2O_5$ ; 0,86 CaO; 0,29 MgO; 1,32  $Fe_2O_3$ ; 0,32  $Al_2O_3$ ; 1,31 F; 0,38  $SO_3$ .

Активация фосфорсодержащей минерализованной массы экстракционной фосфорной кислотой проведена в диапазоне весовых соотношений  $P_2O_5$  в кислоте к  $P_2O_5$  в сырье от 1: 0,38 до 1 : 0,165, т.е. в пределе норм фосфорной кислоты от 35 до 78% от стехиометрической нормы на образование монокальцийфосфата.

Методика проведения лабораторных экспериментов была следующей: в стеклянный термостатированный стакан, в котором находилась навеска ЭФК, медленно дозировалось расчетное количество фосфорсодержащего сырья в течение 10-15 мин. при интенсивном перемешивании (скорость вращения мешалки 250-300 об/мин) и температуре кислоты 60°C. Продолжительность контактирования компонентов составляла 30 мин. После истечения заданного времени реактор удалялся из термостата, а содержимое реактора отфильтровывалось под вакуумом 650-700 мм рт. ст. на воронке Бюхнера, применяя один слой фильтровальной бумаги. Жидкая фаза, состоящая из монокальцийфосфата и фосфорной кислоты, нейтрализовалась газообразным аммиаком до значений pH 4,0 и 4,5. Общее содержание питательных компонентов в аммофосфатных пульпах до и после упарки определялось по [1]. Усвояемая форма  $P_2O_5$  определялась, как в растворе 2-х %-ной лимонной кислоты, так и в 0,2 М растворе трилона Б. Усвояемая форма CaO определялась только по 2-х %-ной лимонной кислоте. Азот по методу Кьельдаля. Измерение величины pH аммонизированных пульп проводилось при помощи лабораторного иономера И-130 М с электродной системой из электродов ЭСЛ 63-07, ЭВЛ -1М3.1 и ТКА с точностью до 0,05 единиц pH. Плотность пульп определялась пикнометрическим методом с точностью измерений 0,05 отн. %, а кинематическая вязкость – с помощью стеклянного капиллярного вискозиметра ВПЖ-1 с погрешностью 0,2 отн. % в интервале температур 30-80°C.

**Результаты и их обсуждение.** Результаты проведенных научно-исследовательских работ показали, что значения плотности и вязкости неупаренных аммофосфатных пульп в зависимости от нормы ЭФК и pH при одинаковой температуре возрастают (таблица 1).

Таблица 1.

**Показатели реологических характеристик неупаренных аммофосфатных пульп, полученных на основе аммонизации жидкой фазы продуктов активации минерализованной массы фосфоритов Центральных Кызылкумов**

Норма ЭФК, %	рН	Плотность, г/см <sup>3</sup>						Динамическая вязкость, сПз.					
		30 °С	40 °С	50 °С	60 °С	70 °С	80 °С	30 °С	40 °С	50 °С	60 °С	70 °С	80 °С
35	3,99	1,1007	1,0917	1,0825	1,0749	1,0685	1,0629	1,61	1,3	1,14	1,02	0,91	0,81
	4,53	1,0946	1,0856	1,0771	1,0699	1,064	1,0582	1,48	1,19	1,03	0,92	0,82	0,74
44	4,00	1,1061	1,0967	1,0882	1,0802	1,0731	1,0681	1,78	1,47	1,29	1,15	1,03	0,95
	4,48	1,1112	1,1021	1,0931	1,0851	1,0784	1,0724	1,69	1,38	1,21	1,07	0,98	0,87
48	4,18	1,1154	1,1069	1,0984	1,0902	1,0829	1,0771	1,92	1,6	1,35	1,21	1,09	1,02
	4,52	1,1194	1,1112	1,1026	1,0948	1,0878	1,0811	2,32	1,96	1,71	1,49	1,36	1,31
52	4,02	1,1267	1,1192	1,1111	1,1043	1,0969	1,0907	2,05	1,71	1,45	1,32	1,19	1,14
	4,54	1,1231	1,1152	1,1072	1,0999	1,0921	1,0856	2,19	1,81	1,57	1,43	1,28	1,19
57	4,02	1,1342	1,1267	1,1197	1,1129	1,1059	1,0989	2,92	2,43	2,12	1,79	1,56	1,47
	4,55	1,1302	1,1226	1,1156	1,1088	1,1017	1,0948	3,07	2,54	2,23	1,91	1,71	1,56
61	4,01	1,1406	1,1339	1,1268	1,1198	1,1126	1,1049	3,47	2,95	2,56	2,28	2,09	1,92
	4,50	1,1371	1,1301	1,1231	1,1165	1,1094	1,1019	3,34	2,86	2,42	2,13	1,92	1,75
65	4,01	1,1476	1,1402	1,1332	1,1268	1,1196	1,1121	3,98	3,29	2,88	2,54	2,32	2,15
	4,51	1,1443	1,1374	1,1302	1,1234	1,1163	1,1084	3,19	2,71	2,29	2,03	1,81	1,65
70	3,99	1,1508	1,1431	1,1362	1,1305	1,1235	1,1157	3,83	3,15	2,71	2,38	2,18	1,97
	4,50	1,1543	1,1462	1,1401	1,1337	1,1273	1,1208	4,15	3,51	3,06	2,79	2,54	2,43
75	4,00	1,1579	1,1506	1,1437	1,1378	1,1318	1,1252	4,59	3,89	3,46	3,13	2,91	2,82
	4,51	1,1619	1,1541	1,1471	1,1419	1,1361	1,1302	4,36	3,68	3,24	2,94	2,73	2,57
78	4,00	1,1693	1,1612	1,1552	1,1497	1,1442	1,1391	5,85	4,88	4,29	3,86	3,54	3,51
	4,51	1,1654	1,1576	1,1511	1,1461	1,1407	1,1351	4,84	4,16	3,64	3,28	3,11	3,05

Как видно из таблицы 1 при температуре 30°C плотность пульпы колеблется от 1,0946 до 1,1693 кг/см<sup>3</sup> и вязкость от 1,48 до 5,85 сПз. Однако, с увеличением температуры от 30 до 80°C эти значения снижаются от 1,1693 до 1,0582 кг/см<sup>3</sup> и от 5,85 до 0,74 сПз соответственно.

В случае использования упаренной аммофосфатной пульпы с влажностью 45 и 50% при температурах 30 и 40 °С наблюдается загустевание пульп, полученных при нормах ЭФК 35, 75 и 78% (таблица 2).

Таблица 2.

**Показатели реологических характеристик упаренных аммофосфатных пульп, полученных на основе аммонизации жидкой фазы продуктов активации минерализованной массы фосфоритов Центральных Кызылкумов**

Норма ЭФК, %	рН	Плотность, г/см <sup>3</sup>						Динамическая вязкость, сПз.					
		30°C	40°C	50°C	60 °С	70 °С	80 °С	30 °С	40 °С	50 °С	60 °С	70 °С	80 °С
35	3,9	**	1,387	1,381	1,372	1,365	1,360	**	22,6	18,85	15,24	12,47	9,71
	4,5	**	1,369	1,359	1,350	1,341	1,338	**	19,0	16,35	12,98	10,35	7,94
44	4,0	1,405	1,396	1,391	1,384	1,375	1,368	42,3	35,8	30,13	25,23	21,42	18,58
	4,49	1,449	1,440	1,435	1,426	1,418	1,410	37,7	31,6	25,27	21,92	18,39	16,21
48	4,0	1,347	1,340	1,330	1,324	1,317	1,312	18,1	14,7	11,43	9,28	6,2	4,43
	4,5	1,417	1,408	1,401	1,395	1,386	1,377	33,9	26,9	22,17	18,38	15,51	13,24
52	4,0	1,526	1,515	1,503	1,495	1,480	1,472	45,6	38,5	33,69	28,43	25,39	21,67
	4,5	1,502	1,492	1,481	1,471	1,461	1,450	48,8	42,4	36,63	30,67	27,88	23,71
57	4,0	1,542	1,535	1,524	1,514	1,503	1,493	87,0	49,4	40,86	35,92	32,65	28,37
	4,5	1,432	1,422	1,417	1,407	1,397	1,392	92,8	52,9	43,78	38,25	34,67	30,92
61	4,0	1,559	1,552	1,543	1,530	1,523	1,516	43,9	34,5	28,38	24,19	19,84	17,39
	4,5	1,475	1,460	1,454	1,443	1,436	1,428	40,5	29,9	26,57	20,41	18,62	15,98
65	3,9	1,326	1,320	1,313	1,306	1,300	1,293	38,7	30,0	25,22	20,95	18,32	16,46
	4,5	1,317	1,308	1,299	1,295	1,288	1,283	35,2	27,5	23,31	18,26	16,43	14,57
70	3,9	1,3652	1,357	1,346	1,340	1,333	1,327	53,1	45,1	37,82	31,56	29,05	25,46
	4,5	1,3874	1,379	1,371	1,363	1,355	1,347	67,2	47,7	38,71	33,61	30,68	27,32

75	4,0	**	**	1,253	1,247	1,240	1,235	**	**	286.63	234.57	199.04	173.1
	4,5	**	**	1,240	1,236	1,228	1,220	**	**	279.24	229.83	188.36	162.43
78	4,00	**	**	1,270	1,263	1,255	1,249	**	**	363.74	295.69	241.48	198.79
	4,53	**	**	1,291	1,284	1,278	1,272	**	**	302.25	244.7	207.67	185.05

Несмотря на это, тенденция снижения плотности и вязкости с увеличением температуры резко приводит к снижению значений данных показателей от 1,5591 до 1,2203 кг/см<sup>3</sup> и от 92,89 до 4,43 сПз, соответственно. Тогда как с увеличением нормы ЭФК от 35 до 78% от стехиометрии и значения pH, плотность и вязкость имеет колебательный характер. Например, при температуре 40 °С плотность возрастает от 1,3599 до 1,5438 кг/см<sup>3</sup> и от 18,85 до 28,38 сПз, соответственно при стехиометрии от 35 до 61%, а при стехиометрии от 65 до 78% понижается от 1,3134 до 1,2916 кг/см<sup>3</sup>, вязкость возрастает от 25,22 до 363,64 сПз.

Это может быть объяснено поведением компонентных составляющих в пульпе. Так как до аммонизации жидкая фаза состояла из H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, (Fe, Al)PO<sub>4</sub> и др. Однако до аммонизации pH 4,0 и 4,5 согласно [7] при pH от 1 до 1,6 образуется соль (Fe,Al)<sub>3</sub>NH<sub>4</sub>H<sub>8</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>•6H<sub>2</sub>O, которая хорошо кристаллизуется, легко фильтруется и отделяется. В процессе нейтрализации при повышении pH примерно до 2,5 образуется воднорастворимый NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, а также аморфно-коллоидные не отстаивающиеся и плохо фильтрующиеся осадки - (Fe,Al)NH<sub>4</sub>HPO<sub>4</sub>F<sub>2</sub>. При нейтрализации магнийсодержащей кислоты образуется также Соль Mg(Fe,Al)NH<sub>4</sub>(HPO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>F<sub>2</sub>.

(Fe,Al)<sub>3</sub>NH<sub>4</sub>H<sub>8</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>•6H<sub>2</sub>O хорошо кристаллизуется, легко фильтруется и отделяется [8].

При повышении pH до 5,5 продолжается образование NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, комплексные фосфаты железа и алюминия преобразуются в Mg(Fe,Al)(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(HPO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>F<sub>3</sub>, (Fe,Al)NH<sub>4</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>•0,5H<sub>2</sub>O, (Fe,Al)NH<sub>4</sub>HPO<sub>4</sub>F<sub>2</sub>, выпадают двузамещенные фосфаты кальция и магния, фторид-фосфат магния, осажденный гидроксилпатит, образуется неустойчивый в водном растворе промежуточный фосфат магния Mg<sub>3</sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(HPO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>•8H<sub>2</sub>O, который разлагается с образованием MgNH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>•H<sub>2</sub>O. Все фосфаты, кроме гидроксилпатита, цитратнорастворимы. Все эти соединения с изменением pH и температуры, в той или иной степени, неизбежно сказываются на реологических характеристиках аммонизированных пульп.

**Заключение.** Проведенные исследования показывают принципиальную возможность получения концентрированных фосфорсодержащих удобрений на базе техногенных отходов, а найденные значения реологических характеристик неупаренных и упаренных аммофосфатных пульп, обуславливают их подвижность, позволяющую проводить их перекачку без особых затруднений на технологическом оборудовании.

#### Список литературы:

1. Винник М.М., Ербанова Л.Н., Зайцев П.М. Методы анализа фосфатного сырья, фосфорных и комплексных удобрений, кормовых фосфатов. - М.: Химия, 1975.
2. Кононов А.В., Трутнева Н.В., Ленёва З.Л., Евдокимова Л.М. Количество и состав твердой фазы, образующейся при аммонизации экстракционной фосфорной кислоты из рядовых руд бассейна Каратау в интервале изменения pH 1,3-2,5 // Химическая промышленность. -1983. - №7. - с. 417-419.
3. Назирова Н.Р., Таджиев С.М., Закиров Б.С., Тухтаев С. Получение NPK-удобрения из мытого сушеного-фосфоритового концентрата// Universum: Технические науки: электронный научный журнал.-2016. №10(31). Режим доступа: URL:<http://7universum.com/ru/tech/archive/item/3774>.
4. Назирова Н.Р., Таджиев С.М., Мирсалимова С.Р., Худоярова Д. Интенсивная технология NPK-удобрений на основе мытого сушеного фосфоритового концентрата Центральных Кызылкумов // Проблемы современной науки и образования: научный журнал.-2019. №2(135). Режим доступа: URL:<http://ipi1.ru/homepage/arkhiv-zhurnal.html>.
5. Ортикова С.С., Алимов У.К., Намазов Ш.С., Каймакова Д.А. Исследование водонерастворимой части кислот кальций фосфатной и аммофосфатной пульп, полученных на основе разложения минерализованной массы Кызылкумских фосфоритов экстракционной фосфорной кислотой. Химическая промышленность.- Санкт-Петербург,2015.- т.92, №6.- С. 289-296.
6. Ортикова С.С., Алимов У.К. Намазов Ш.С., Реймов А.М., Каймакова Д.А. Рациональный способ решения проблемы переработки забалансовой руды фосфоритов Центральных Кызылкумов на аммофосфатное удобрение. Узбекский химический журнал. -Ташкент, 2015. - № 5. -С.56-60.
7. Ортикова С.С., Алимов У.К., Намазов Ш.С., Сейтназаров А.Р., Беглов Б.М. Фосфорные и азотнофосфорно-кальциевые удобрения, получаемые путем фосфорнокислотной переработки забалансовой фосфоритной руды Центральных Кызылкумов // Химическая промышленность сегодня.- Москва,2016.-№11.- С.13-21.
8. Портнова Н.Л., Кленецкий А.И., Кононов А.В. Реакции, протекающие при аммонизации экстракционной фосфорной кислоты // Деп. в Отделении НИИТЭХима (г. Черкассы) № 3275/79 деп.