

**AMMONIUM SULFATE AND PRECIPITATE BASED ON AMMONIA  
CONVERSION OF PHOSPHORIC ACID GYPSUM SLURRY**  
**Nu`monov B.O.<sup>1</sup>, Mamataliyev A.A.<sup>2</sup>, Namazov Sh.S.<sup>3</sup> (Republic of Uzbekistan)**  
**Email: Nu`monov565@scientifictext.ru**

<sup>1</sup>Nu`monov Bahtiyor Omonjonovich – Student PhD;

<sup>2</sup>Mamataliyev Abdurasul Abdumalikovich – Doctor of philosophy (PhD) in technics, Senior Scientific Researcher;

<sup>3</sup>Namazov Shafoat Sattarovich – Doctor of science, Professor, Academic, Chief of Laboratory,

LABORATORY OF PHOSPHATE FERTILIZER,  
INSTITUTE OF GENERAL AND INORGANIC CHEMISTRY  
ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN,  
TASHKENT, REPUBLIC OF UZBEKISTAN

**Abstract:** It is well known that phosphogypsum as a waste production of wet process phosphoric acid thrown into the dump, in factories producing ammophos causes big trouble. Currently more than 100 million tons of phosphogypsum, for which there is no acceptable disposal technology, is stored in the sludge collectors of Ammophos-Maxam and Samarqandkime JSC. Therefore, it is very relevant work aimed at the disposal of phosphogypsum, and to prevent its formation. Ammonization of phosphoric acid gypsum slurry (PAGS) composition (wt.%):  $P_2O_{5total} - 12,08$ ;  $P_2O_{5water} - 11,99$ ;  $CaO_{total} - 12,42$ ;  $SO_{3total} - 17,18$ ;  $L : S = 2 : 1$  was carried out with 25 % aqueous ammonia solution at pH = 5,5; 6,5; 7,5; 8,5. the duration of mixing the pulp to be for 30-120 minutes and a temperature of 30-50°C, followed by separation into solid and liquid phases. The precipitate was washed with water, then acetone and dried at 60°C. The dried precipitate and liquid phase were analyzed for  $P_2O_5$  content by photocolometric, CaO complexometric,  $SO_3$  gravimetric methods, and N by Keldall. It is shown that the higher the pH and temperature of the pulp, and the longer the interaction period, the greater the solubility of gypsum in ammonium phosphate solutions. Under optimal conditions: pH = 7,5. temperature-50°C and agitation time-120 min the composition of the dried precipitate is as follows (wt. %):  $P_2O_{5total} - 36,68$ ,  $P_2O_{5assimilate}$  on citric acid 26,31,  $P_2O_{5assimilate}$  by EDTA-24,84,  $P_2O_{5water} - 1,80$ ,  $CaO_{total} - 42,96$ .  $CaO_{assimilate} - 30,85$ ,  $SO_{3total} - 1,76$ . N-1,28 with a conversion rate of 97,28%. And its liquid part contains 2,60%  $(NH_4)_2HPO_4$  and 26,96%  $(NH_4)_2SO_4$ .

**Keywords:** phosphoric acid gypsum slurry, ammonia water, conversion, solid and liquid phases, precipitate, ammonium sulfate, composition.

**СУЛЬФАТ АММОНИЯ И ПРЕЦИПИТАТ НА ОСНОВЕ АММИАЧНОЙ  
КОНВЕРСИИ ФОСФОРНОКИСЛОТНОЙ ГИПСОВОЙ ПУЛЬПЫ**  
**Нуъмонов Б.О.<sup>1</sup>, Маматалиев А.А.<sup>2</sup>, Намазов Ш.С.<sup>3</sup> (Республика Узбекистан)**

<sup>1</sup>Нуъмонов Бахтиёр Омонжонович – базовый докторант PhD;

<sup>2</sup>Маматалиев Абдуракул Абдумаликович – доктор философии (PhD) по техническим наукам, старший научный сотрудник;

<sup>3</sup>Намазов Шафоат Саттарович – доктор технических наук, профессор, академик, заведующий лабораторией, лаборатория фосфорных удобрений,

Институт общей и неорганической химии  
Академия наук Республики Узбекистан,  
г. Ташкент, Республика Узбекистан

**Аннотация:** всем известно, какие большие неприятности доставляет отход производства экстракционной фосфорной кислоты – фосфогипс, выбрасываемый в отвал, на заводах, производящих аммофос. В шламонакопителях АО «Аммофос-Максам» и «Самаркандкимё» на сегодняшний день лежит более 100 млн. т фосфогипса, для которого пока нет приемлемой технологии утилизации. Поэтому очень актуальны работы, направленные как на утилизацию фосфогипса, так и на предотвращение его формирования. Аммонизацию фосфорнокислотной гипсовой пульпы (ФКГП) состава (вес. %):  $P_2O_{5общ.} - 12,08$ ;  $P_2O_{5водн.} - 11,99$ ;  $CaO_{общ.} - 12,42$ ;  $SO_{3общ.} - 17,18$ ;  $Ж : Т = 2 : 1$  проводили 25 %-ным водным раствором аммиака при pH = 5,5; 6,5; 7,5; 8,5. продолжительности перемешивания пульпы в течение 30-120 минут и температуре 30-50°C с последующим разделением на твердую и жидкую фазы. Осадок промывали водой, затем ацетоном и высушивали при 60°C. Высушенный осадок и жидкую фазу анализировали на содержание  $P_2O_5$  фотоколориметрическим, CaO комплексометрическим,  $SO_3$  весовым методами, а N методом Кьельдаля. Показано, что чем выше pH и температура пульпы и чем продолжительнее период взаимодействия, тем больше растворимость гипса в растворах фосфатов аммония. При оптимальных условиях: pH = 7,5, температура – 50°C и продолжительность перемешивания – 120 минут состав высушенного осадка выглядит следующим

образом (вес. %):  $P_2O_{5\text{общ.}}$  – 36,68%,  $P_2O_{5\text{усв. по лим. к-те}}$  – 26,31%,  $P_2O_{5\text{усв. по трил. Б}}$  – 24,84%,  $P_2O_{5\text{водн.}}$  – 1,80%,  $CaO_{\text{общ.}}$  – 42,96%,  $CaO_{\text{усв.}}$  – 30,85%,  $SO_{3\text{общ.}}$  – 1,76%,  $N$  – 1,28% со степенью конверсии гипса 97,28%. А жидкая его часть содержит 2,60%  $(NH_4)_2HPO_4$  и 26,96%  $(NH_4)_2SO_4$ .

**Ключевые слова:** фосфорнокислотная гипсовая пульпа, аммиачная вода, конверсия, твердая и жидкая фазы, преципитат, сульфат аммония, состав.

Кызылкумский фосфоритовый комплекс в настоящее время выпускает 716 тыс. тонн мытого обожженного концентрата (МОК) состава (вес. %): 25,77  $P_2O_5$ , 52,70  $CaO$ , 1,20  $MgO$ , 0,63  $Fe_2O_3$ , 1,15  $Al_2O_3$ , 2,67  $SO_3$ , 0,04  $Cl$ , 3,60  $CO_2$ , 6,88 н.о.,  $CaO : P_2O_5 = 2,05$ . АО «Аммофос-Максам» путем сернокислотного его разложения производит экстракционную фосфорную кислоту (ЭФК). Базовым способом производства ЭФК как у нас, так и за рубежом является дигидратной, относительно простой и надежной в эксплуатации [1, 2].

Исследованию процесса получения ЭФК из термически обожженного концентрата с различным содержанием  $P_2O_5$  посвящены работы [3-7]. В результате выявлены оптимальные параметры процесса получения ЭФК: температура экстракции – 85-90°C, время экстракции – 4-6 часов, концентрация  $H_2SO_4$  – 92-93%, норма серной кислоты – 105% от стехиометрии, соотношение Ж : Т = 2.9-3.1 : 1; содержание  $SO_3$  в жидкой фазе пульпы – 2,5-3,0 г/100 см<sup>3</sup>; концентрация  $P_2O_5$  – 19-20%. При этом усредненный состав производимой ЭФК, %:  $P_2O_5$  – 17,0-21,5;  $CaO$  – 0,4-0,6;  $MgO$  – 0,8-1,2;  $Fe_2O_3$  – 0,4-0,6%;  $Al_2O_3$  – 0,02-0,04%;  $F_2$  – 1,0-1,3%;  $Cl$  – 0,01-0,015%;  $SiO_2$  – до 1,5%;  $SO_3$  – 1,9-3,5%.

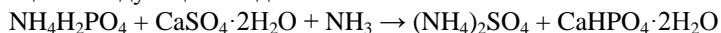
В нашем случае при сернокислотной экстракции одной тонны МОК вышеприведенного состава образуется 2376 кг фосфогипса (твердая фаза 1594 кг и жидкая фаза 782 кг). Тогда как для переработки 716 тыс. т в МОК в ЭФК потребуется 650 тыс. т  $H_2SO_4$  в год и при этом образуется 1 млн. 700 тыс. тонн фосфогипса (твердая фаза 1 млн. 141 тыс. т и жидкая фаза 559 тыс. т).

До сегодняшнего дня вокруг территории АО «Аммофос-Максам» с начала его пуска (1969 г.) накоплено около 80 млн. тонн фосфогипса, что усугубляет экологическую обстановку.

Поэтому очень актуальны работы, направленные как на утилизацию фосфогипса, так и на предотвращение его формирования.

В настоящее время разработаны различные способы использования фосфогипса, а также его переработки в целевые продукты. В сельском хозяйстве фосфогипс можно использовать в качестве мелиоранта для гипсования солончаковых почв. Его рекомендуется применять также в качестве местных удобрений.

В работах [8 - 12] предприняли попытку избавиться или значительно уменьшить этот отход, осуществив конверсию гипса в фосфорнокислотной пульпе в сульфат аммония и дикальцийфосфат. На возможность такой конверсии указывают работы [13, 14]. Сущность процесса в этом случае описывается реакцией следующего вида:



Данная реакция подтверждена [8] изучением взаимодействия компонентов в системах  $NH_4H_2PO_4$ - $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ - $H_2O$ ,  $(NH_4)_2HPO_4$ - $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ - $H_2O$  и  $NH_4H_2PO_4$ - $(NH_4)_2HPO_4$ - $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ - $H_2O$  в зависимости от времени, температуры и их мольного соотношения. Установлено, что наименьшая степень конверсии (от 2,76 до 7,00 %) наблюдается в системе моноаммонийфосфат–двуводный гипс–вода при эквимолярном соотношении компонентов. Наибольшая степень конверсии (от 97,27 до 99,48 %) достигается при 30°C в системе диаммонийфосфат- двуводный гипс-вода при мольном соотношении компонентов 2 : 1. Чем выше температура, тем ниже степень конверсии. Оптимальное время взаимодействия 60 мин.

Суть данного способа [12] заключается в глубоком аммонизации (pH = 7-8) смесей фосфорной кислоты и фосфогипса, чтобы получить азотнофосфорное серосодержащее удобрение, состоящее в основном из дикальцийфосфата, фосфата и сульфата аммония. В настоящее время этот продукт выпускается на АО «Аммофос-Максам» под названием «Супрефос-NS», содержащий в своём составе до 45% преципитата, до 40% сульфата аммония и до 15% моно- и диаммонийфосфата. Помимо азота и фосфора он содержит такие важные для растений питательные элементы, как сера и кальций в усвояемой форме.

Мы же решили осуществить технологию получения двух видов удобрения: одинарного фосфорного удобрения – преципитата (дикальцийфосфата) и азотносерного удобрения – сульфата аммония взамен комплексного удобрения «Супрефоса-NS». Для экспериментов была взята фосфорнокислотная гипсовая пульпа АО «Аммофос-Максам» состава (вес. %):  $P_2O_{5\text{общ.}}$  – 12,08;  $P_2O_{5\text{водн.}}$  – 11,99;  $CaO_{\text{общ.}}$  – 12,42;  $SO_{3\text{общ.}}$  – 17,18; Ж : Т = 2 : 1. То есть, она представляет собой суспензию  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  в водном растворе фосфорной кислоты. В качестве нейтрализующего агента использовали водный раствор аммиака (25%  $NH_4OH$ ). В стеклянный реактор, снабженный мешалкой и термостатирующей водяной рубашкой, заливали исходную пульпу в количестве 50 гр. После обогрева до 60°C включали мешалку и постепенно нейтрализовали 25 %-ной аммиачной водой до pH = 5,5; 6,5; 7,5 и 8,5. Далее вели перемешивание пульпы

в термостатированных условиях в течение 30; 60 и 120 мин. при температуре 30 и 50°C. Аммонизированную пульпу перемешивали при скорости вращения мешалки 250-300 об/мин. Затем всё содержимое реактора расфилтровывали на воронке Бюхнера, с использованием колбы Бунзена, при разрежении 0,65 мм рт. ст. через один слой фильтровальной бумаги «белая» лента. Взятые фильтры предварительно взвешивались. Оставшийся на фильтре осадок промывали со 100 гр. водой при заданной температуре, затем ацетоном и вместе с фильтром высушивали при 60°C до постоянного веса. После охлаждения взвешивался в эксикаторе. Далее высушенный осадок и равновесная с ним жидкая фаза подвергались анализу на содержание различных форм фосфора, кальция, SO<sub>3</sub>, N по общепринятым методикам [15]. Усвояемую форму P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> определяли, как по Трилону Б, так и по лимонной кислоте. Усвояемую форму CaO только по лимонной кислоте. Степень конверсии гипса определяли по количеству ионов SO<sub>3</sub>, образовавшихся в жидкой фазе пульпы, а также рассчитывали по отношению в граммах количества сульфат – ионов, оставшихся в твердом остатке, к их общему количеству в исходном гипсе.

В таблице 1 приведен состав твердой фазы – высушенного продукта, а таблице 2 жидкой фазы, полученной из аммонизированной пульпы. А на рисунках 1 и 2 приведены степень конверсии гипса в зависимости от условий опытов.

Таблица 1. Состав твердой фазы, полученной на основе твердой фазы аммонизированной фосфорнокислотной гипсовой пульпы

Аммонизация ФКП до значения pH	Температура конверсии, °C	Время конверсии, мин	Влага, %	Химический состав продукта, вес. %							Степень конверсии, %	
				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> общ.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> усв в 2% лим. к-те	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> усв по 0.2 М трил.Б	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> вод.	CaO общ	CaO усв в 2% лим. к-те	SO <sub>3</sub>		N
5,5	30°	30	34,91	16,20	15,91	15,78	0,91	32,15	23,87	24,69	0,78	47,37
6,5			56,57	34,44	27,44	24,36	4,15	38,48	28,52	6,97	1,78	87,42
7,5			61,46	36,41	28,13	25,71	2,94	41,88	28,62	3,04	2,16	94,91
8,5			58,34	32,80	28,09	26,26	3,63	36,75	28,67	9,29	4,43	82,40
5,5	30°	120	50,63	29,61	24,89	24,64	3,52	36,33	28,89	11,09	0,82	78,72
6,5			50,44	36,00	24,47	21,84	1,36	42,46	28,34	2,39	1,12	96,11
7,5			56,10	36,44	25,76	24,04	2,01	41,79	28,86	2,36	1,54	96,89
8,5			56,09	34,70	24,75	23,84	1,10	41,91	29,84	2,78	1,21	95,45
5,5	50°	30	49,86	27,27	24,49	24,22	3,27	31,80	27,84	15,17	2,55	65,68
6,5			50,54	34,82	25,99	22,28	1,53	42,63	27,96	3,77	1,30	93,76
7,5			52,25	35,41	25,81	23,94	1,54	42,04	29,63	4,63	1,62	95,84
8,5			50,17	32,18	25,66	24,13	1,05	40,55	31,13	8,26	2,06	85,75
5,5	50°	60	50,43	30,91	23,67	22,02	2,96	35,92	26,62	12,94	2,57	74,41
6,5			49,45	35,47	25,08	21,87	1,25	42,89	28,69	2,71	1,20	95,54
7,5			52,28	36,02	26,02	24,03	1,67	42,74	30,33	3,19	1,45	94,68
8,5			51,00	34,37	24,82	22,88	2,46	39,09	26,86	6,45	2,61	88,46
5,5	50°	120	48,36	36,02	24,12	21,72	0,96	42,69	27,84	1,66	1,11	97,28
6,5			52,31	36,68	26,31	24,22	1,80	42,96	30,85	1,76	1,28	97,08
7,5			53,76	36,08	25,94	24,84	0,68	43,26	31,46	1,95	0,89	96,86
8,5												

Из рисунка 1 видно, что при 30°C и времени перемешивания 30 мин. с повышением pH супрефосной пульпы с 5,5 до 7,5 степень конверсии фосфогипса увеличивается от 47,37 до 94,91%, но дальнейшее повышение pH приводит к снижению этого показателя до 82,40%. При этом содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>общ. в высушенном продукте соответственно увеличивается с 16,20 до 36,41% и затем снижается до 32,80% (таблица 1). Это объясняется из-за недостаточной отмывки осадка при повышенных значениях pH пульпы (11,07% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>водн.). А наличие 0,78-4,43% азота объясняется присутствием комплексных солей железа и алюминия, а также растворимых сульфата и фосфата аммония. Чем выше значение pH пульпы, тем больше остается азота в осадке. Высокая степень конверсии гипса наблюдается за время взаимодействия 120 минут. Так, в интервале pH пульпы 5,5-8,5 степень конверсии гипса находится в пределах 78,72-96,89%. В этом случае состав осадка выглядит следующим образом (вес. %): P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>общ. – 29,61-36,44; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>усв. по лим. к-те – 24,47-25,76; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>усв. по трил. Б – 21,84-24,64; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>водн. – 1,10-3,52; CaOобщ. – 36,33-42,46; CaOусв. – 28,34-29,84; SO<sub>3</sub>общ. – 2,36-11,09; N – 0,82-1,54. Чем выше температура и чем продолжительнее период взаимодействия, тем больше растворимость гипса в растворах фосфатов аммония (рисунок 2). Если при 50°C, pH пульпы 5,5 и времени взаимодействия 30 мин. степень

конверсии гипса составляет 65,68%, то при 60 мин. она повышается до 74,41% и при 120 мин. – до 88,46%. А при аммонизации пульпы до рН = 7,5 этот показатель составляет 95,84; 96,68 и 97,28% соответственно.

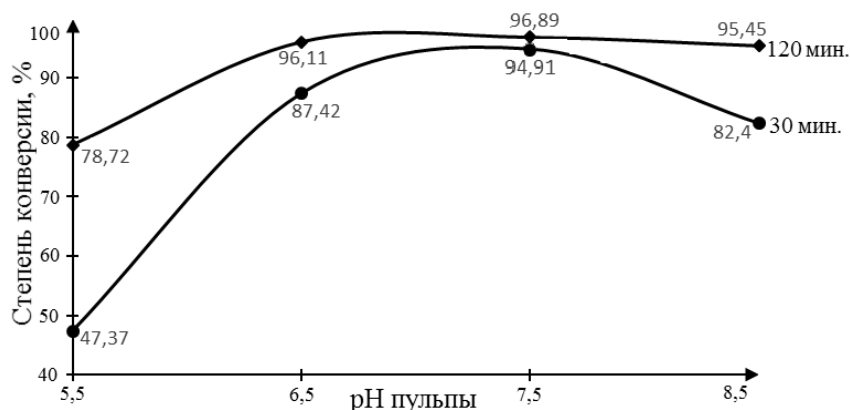


Рис. 1. Степень конверсии гипса в зависимости от рН аммонизированной фосфорнокислотной гипсовой пульпы при температуре 30 °С

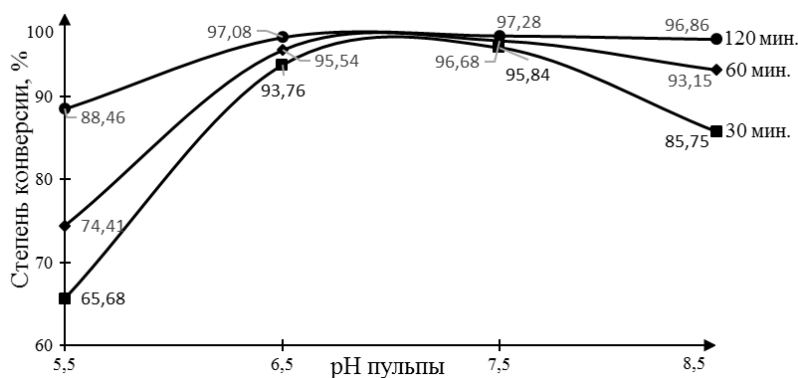


Рис. 2. Степень конверсии гипса в зависимости от рН аммонизированной фосфорнокислотной гипсовой пульпы при температуре 50 °С

Таблица 2. Состав жидкой фазы, полученной на основе жидкой фазы аммонизированной фосфорнокислотной гипсовой пульпы

рН аммонизация ФКГП до значения	Температура конверсии, °С	Время конверсии, мин	Химический состав продукта, вес. %			Содержание жидкой фазы, %		
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> общ	SO <sub>3</sub> общ	N	МАФ	ДАФ	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
5,5	30	30	7,38	8,29	4,51	10,16	2,06	12,90
6,5			1,72	15,57	6,06	-	3,19	25,36
7,5			1,13	16,29	6,10	-	2,10	26,64
8,5			1,01	15,62	6,18	-	1,87	25,54
5,5	30	120	1,83	14,74	5,46	2,52	0,51	23,76
6,5			1,43	15,92	6,10	-	2,66	26,08
7,5			1,10	15,74	6,20	-	2,04	25,85
8,5			1,00	14,57	6,30	-	1,86	23,92
5,5	50	30	1,53	15,79	5,74	2,11	0,43	25,39
6,5			1,49	15,84	6,07	-	2,77	25,85
7,5			1,48	15,14	5,84	-	2,75	24,77
8,5			1,45	13,19	5,89	-	2,69	21,57
5,5	50	60	1,48	16,55	6,02	2,04	0,41	26,79
6,5			1,45	16,57	6,33	-	2,69	27,13
7,5			1,44	15,67	6,03	-	2,67	25,74
5,5			50	120	1,44	17,89	6,50	1,98
6,5	1,42	17,56			6,67	-	2,64	28,81
7,5	1,40	16,37			6,28	-	2,60	26,96

8,5			1,37	13,84	6,00	-	2,55	22,79
-----	--	--	------	-------	------	---	------	-------

Таким образом, самая высокая степень конверсии гипса (97,28%) происходит при pH = 7,5, температуре 50°C и 120-ти минутном взаимодействии компонентов. При этом высушенный фосфат кальция в своем составе имеет P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>общ. – 36,68%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>усв. по лим. к-те – 26,31%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>усв. по трил. Б – 24,84%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>водн. – 1,80%, CaOобщ. – 42,96%, CaOусв. – 30,85%, SO<sub>3</sub>общ. – 1,76%, N – 1,28% и вполне пригоден в качестве одинарного фосфорного удобрения для внесения под яблечную вспашку. При таком значении pH и относительно коротком времени (30 и 60 минут) взаимодействия также достигается максимальная степень конверсии гипса (95,84 и 96,68% соответственно). В этих условиях продукты содержат (вес. %): при 30 мин. – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>общ. – 35,41; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>усв. по лим. к-те – 25,81; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>усв. по трил. Б – 23,94; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>водн. – 1,54; CaOобщ. – 42,04; CaOусв. – 29,63; SO<sub>3</sub>общ. – 4,63; N – 1,62 и при 60 мин. – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>общ. – 36,02; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>усв. по лим. к-те – 26,02; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>усв. по трил. Б – 24,03; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>водн. – 1,67; CaOобщ. – 42,74; CaOусв. – 30,33; SO<sub>3</sub>общ. – 3,19; N – 1,45. Что касается жидкой части аммонизированной фосфорнокислотной гипсовой пульпы, то можно сказать, что она представляет из себя раствор сульфата аммония в смеси моно- (МАФ) и диаммонийфосфатом (ДАФ) с незначительным количеством сульфата кальция, но в водорастворимой форме (таблица 2). Следует отметить, что в образцах жидкой фазы отсутствует МАФ, исключая образцы 1, 5, 9, 13 и 16. соответственно содержащих 10,16; 2,52; 2,11; 2,04 и 1,98% NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>. При оптимальных условиях: pH = 7,5, температуре – 30 и 50°C в течение 120 минут в жидкой части пульпы концентрация (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> составляет 25,85 и 26,96% соответственно. При этом они дополнительно содержат 2,04 и 2,60% (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> соответственно. Их можно рекомендовать в качестве жидкого удобрения в тепличном хозяйстве для капельного внесения либо перерабатывать на кристаллический сульфат аммония с фосфорным компонентом. В зависимости от pH при температуре 30°C в течение 120 минут в жидкой части содержится 1,0-1,83% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0,05-0,24% CaO, 14,57-15,92% SO<sub>3</sub>, 5,46-6,30% N, а при 50°C при постоянстве остальных параметров 1,37-1,44% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0,02-0,17% CaO, 13,84-17,89% SO<sub>3</sub>, 6,0-6,67% N. Таким образом, результаты исследования показывают на реальную возможность осуществления безотходной технологии получения твердых одинарных фосфорных и жидких азотнофосфорносерных удобрений на основе переработки фосфогипса – отхода сернокислотной экстракции мытого обожженного концентрата. Сера относится к основным питательным для растений элементам наряду с азотом, фосфором и калием. Ведь ещё академик Д.Н. Прянишников указывал, что сера стоит в одном ряду с такими элементами питания растений, как азот, фосфор и калий [16]. После серы в этом ряду стоят кальций и магний. За ними уже идут микроэлементы: медь, цинк, молибден, марганец, кобальт и бор [17].

**Заключение.** Изучен процесс получения одинарного фосфорного удобрения – преципитата и азотносерного удобрения – сульфата аммония путем переработки реальной фосфорнокислотной гипсовой пульпы АО «Аммофос-Максам» состава (вес.%): P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>общ. – 12,08; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>водн. – 11,99; CaOобщ. – 12,42; SO<sub>3</sub>общ. – 17,18; Ж : Т = 2 : 1. Для этого суспензию CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O в водном растворе фосфорной кислоты нейтрализовали 25%-ным раствором аммиака до pH – 5,5-8,5 при температуре 30-50°C и продолжительности перемешивания пульпы 30-120 минут с последующим разделением аммонизированной пульпы на жидкую и твердую фазы. Показано, что самая высокая степень конверсии гипса (97,28%) происходит при pH = 7,5, температуре 50°C и 120-минутном взаимодействии компонентов. При этом твердый осадок содержит P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>общ. – 36,68%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>усв. по лим. к-те – 26,31%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>усв. по трил. Б – 24,84%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>водн. – 1,80%, CaOобщ. – 42,96%, CaOусв. – 30,85%, SO<sub>3</sub>общ. – 1,76%, N – 1,28% и вполне пригоден для внесения под зябь в качестве одинарного удобрения. А жидкая фаза представляет собой раствор, состоящий из 2,60% (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> и 26,96% (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, и его можно рекомендовать в качестве жидкого азотнофосфорносерного удобрения.

Таким образом, можно сократить объём выбрасываемого в отвал фосфогипса на 30-40%. На это же количество увеличилось ресурсы серной кислоты для производства удобрений за счёт конверсии гипса в сульфат аммония и дикальцийфосфат.

### References / Список литературы

1. Позин М.Е. Технология минеральных удобрений. Л.: Химия, 1983. 336 с.
2. Копылев Б.А. Технология производства экстракционной фосфорной кислоты. Л.: Химия, 1981. 224 с.
3. Волинскова В.Н., Садыков Б.Б., Мирзакулов Х.Ч. Получение экстракционной фосфорной кислоты из мытого обожженного фосфатного концентрата Центральных Кызылкумов. // Химия и химическая технология. Ташкент, 2008. № 1. С. 4-7.
4. Волинскова В.Н., Садыков Б.Б., Мирзакулов Х.Ч. Переработка мытого обожженного фосфоритного концентрата Ташкура на ОАО “Аммофос-Максам”. // Химия и химическая технология. Ташкент, 2009. № 3. С. 10-14.

5. *Волынскова В.Н., Садыков Б.Б., Мирзакулов Х.Ч.* Исследование кинетики процесса разложения фосфоритов Центральных Кызылкумов смесью серной и фосфорной кислот. // *Химия и химическая технология.* Ташкент, 2010. № 2. С. 11-13.
6. *Волынскова В.Н.* Разработка и внедрение технологии производства экстракционной фосфорной кислоты фосфоритов Центральных Кызылкумов: Авторефер. дисс... канд. техн. наук. Ташкент ИОНХ АН РУз, 2010. 25 с.
7. *Намазов Ш.С., Садыков Б.Б., Волынский Н.В., Сейтназаров А.Р., Исаев Р.Д., Беглов Б.М.* Экстракционная фосфорная кислота из мытого обожженного фосфоконцентрата Центральных Кызылкумов, содержащего 26% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. // *Химическая промышленность.* Санкт-Петербург, 2014. Т. 91. № 5. С. 223-236.
8. *Садыков Б.Б., Сейтназаров А.Р., Ибрагимов Г.И., Намазов Ш.С., Беглов Б.М.* Изучение взаимодействия компонентов в системах NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> – CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O – H<sub>2</sub>O, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> – CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O – H<sub>2</sub>O и NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> – (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> – CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O – H<sub>2</sub>O. // *Химическая промышленность.* Санкт-Петербург, 2006. Т. 83. № 12. С. 568-575.
9. *Садыков Б.Б., Реймов А.М., Намазов Ш.С., Беглов Б.М.* Взаимодействие компонентов фосфорнокислотно-гипсовой пульпы при её глубокой аммонизации. // *Химическая промышленность.* Санкт-Петербург, 2006. Т.83. № 9. С. 411-415.
10. *Sadykov, B.B., Volynskova, N.N., Namazov, Sh.S., Beglov, B.M.* Technology for manufacturing fertilizer "superfos" containing nitrogen, phosphorus, sulfur and calcium. // *Russian Journal of Applied Chemistry,* 2010. Vol. 83. № 3. Pp. 545–552 (IF 0.375).
11. *Садыков Б.Б., Волынскова В.Н., Намазов Ш.С., Беглов Б.М.* Материальные потоки при производстве Супрефоса из мытого сушеного концентрата фосфоритов Центральных Кызылкумов с использованием экстракционной фосфорной кислоты из мытого сушеного термоконцентрата. // *Химическая промышленность.* Санкт-Петербург, 2008. Т. 85. № 4. С. 185-192.
12. Патент РУз № IAP 03481. кл. CO5 C 11/00. CO5 B 11/00. Способ получения гранулированного сложного азотно-фосфорного удобрения. / Г.И. Ибрагимов, З.К. Ниязов, Б.Б. Садыков, Н.В. Волынскова, Д.А. Эргашев, А.И. Кононов, И.Т. Рахимов, Ю.Ч. Шамсиев. Бюлл. № 10 от 31.10.2007.
13. *Панфилов В.Н.* Состав аммонизированных суперфосфатов и методы их анализа // *Фосфорные удобрения и их качество.* М.: Сельхозгиз, 1938. С. 176-179.
14. *Кушербекова Г.Т., Копылев Б.А., Попова Г.Я., Молдабеков Ш.М., Макарова В.Ф.* Исследование взаимодействия фосфогипса с аммонизированными растворами слабой фосфорной кислоты // *Исследование по очистке сточных вод и переработке отходов при производстве фосфорсодержащих продуктов и удобрений.* Л.: Ленниигипрохим, 1983. С. 94-97.
15. Методы анализа фосфатного сырья, фосфорных и комплексных удобрений, кормовых фосфатов / М.М.Винник, Л.Н.Ербанова, П.М. Зайцев и др. М.: Химия, 1975. 218 с.
16. *Прянишников Д.Н.* Агрохимия. Избранные сочинения. Том 1. М.: Сельхозгиз, 1952. 692 с.
17. *Минеев В.Г.* Агрохимия. М.: Изд-во Моск. ун-та и «Колос», 2004. 720 с.