



## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕСШЛАМЛИВАНИЯ СИЛЬВИНИТОВОЙ РУДЫ ТЮБЕГАТАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

---

*Махмаёров Жасур Бозорович, Туйчиев Афруз Акмалович*  
*Университет экономико-педагогический, г. Карши, ул. Ислама*  
*Каримова, Республика Узбекистан.*  
*E-mail: [jasurinbox@mail.ru](mailto:jasurinbox@mail.ru)*

**Аннотация.** На основе анализа работы первой очереди УП «Дехканабадский завод калийных удобрений» выявлены причины влияющие на снижение показателей обесшламливания и флотации сильвинитовой руды и приведены результаты исследований по предварительной оттирке низкосортных сильвинитов с содержанием 23,2-30,7% KCl и 3,25-4,95% нерастворимого в воде остатка. Установлены оптимальные технологические параметры процессов обесшламливания и флотации низкосортных сильвинитов Тюбегатана.

**Ключевые слова:** калий хлорид, сульфат калия, конверсия, мирабилит, натрий сульфат, нерастворимый в воде остаток.

### 1. Введение.

Хлористый калий - ценное удобрение, участвует на биохимическом уровне в борьбе с вредителями растений, в частности, с вилтом хлопчатника. Недостаток калия в почве приводит к существенному понижению ее плодородия. Суммарная мощность 1 и 2 стадии УП «Дехканабадский завод калийных удобрений» составляет 600 тыс. т хлорида калия в год. С увеличением мощности производства, увеличилось и количество добываемой шахтным способом сильвинитовой руды. Однако, добываемая сильвинитовая руда не отвечает требованиям технологического регламента и до 50% сильвинита содержит менее 32% сильвина и более 3,2% нерастворимого в воде остатка (н.о.), что отрицательно сказывается на работе технологического оборудования и качестве готовой продукции [1].

В процессе эксплуатации обогатительной фабрики УП «Дехканабадский завод калийных удобрений» выявилась недостаточная эффективность процессов обесшламливания руды и снижение, вследствие этого, селективности последующей флотации сильвина.

### 2. Материалы и методы.



Опыты по оттирке проводили при длительности перемешивания суспензии в течение 2, 4 и 6 минут следующим образом: в ступку засыпали навеску руды; добавляли маточный раствор; по истечению времени оттирки суспензию количественно переносили в стеклянный стакан объемом 1 литр, добавляли маточник (200 мл); после перемешивания стеклянной палочкой суспензия отстаивалась в течение 60 секунд, жидкую фазу, содержащую свободное н.о. декантировали; оставшуюся твердую фазу заливали маточным раствором, перемешивали, отстаивали 60 секунд и декантировали оставшееся свободное н.о. в тот же стеклянный стакан; в стакан с декантированным шламовым продуктом добавляли небольшое количество полиакриламидного флокулянта для более быстрого осветления суспензии; после отстаивания суспензии нерастворимый остаток с мелкой солевой фракцией фильтровали и определяли количество свободного н.о. и мелкой солевой фракции [2].

Твердую фазу, оставшуюся после удаления свободного н.о. классифицировали по фракциям + 1 мм, + 0,8 мм, + 0,63 мм, + 0,4 мм, + 0,25 мм, + 0,1 мм и - 0,1 + 0 мм, после чего полученные фракции крупности фильтровали, высушивали и определяли в каждой содержание хлорида калия и нерастворимого остатка [3].

### **3. Результаты и обсуждение.**

С целью выявления причин снижения эффективности стадии обесшламливания проведен анализ поступающей сильвинитовой руды. Исследования показали, что на обогатительную фабрику поступает сырье не соответствующее требованиям, заложенным в технологическом регламенте [2-4]. А именно: содержание нерастворимых примесей в добываемой руде колеблется от 1% до 10% и для обеспечения проектного содержания н.о. в руде (~ 3 %) на руднике осуществляется шихтовка и усреднение руды, направляемой на фабрику; содержание в руде КСl ниже и н.о. выше, чем заложено в проекте; выход слива гидроциклонов первой стадии обесшламливания по проекту составляет 18,5%, а на действующей фабрике достигает 30%, причём содержание н.о. в сливе не превышает 5-6%; содержание н.о. в питании сильвиновой флотации составляет 1,9-2,2% по сравнению с 1,6% по проекту; содержание нерастворимого остатка в пенном продукте основной сильвиновой флотации достигает 1,5% по сравнению с 0,7% по проекту, что снижает селективность последующих перечистных сильвиновых флотаций, в связи с чем содержание КСl в концентрате третьей перечистой флотации не превышает 94%, по проекту 95,1% [4].



Для выяснения распределения хлорида калия в зависимости от крупности фракции поступающей руды исследован фракционный и химический состав сильвинитовой руды с низким содержанием хлорида калия (таблица 1). Из таблицы видно, что основную долю низкосортных сильвинитов составляет фракция +0,90 мм, которая со снижением содержания КСl также снижается с 63,6% до 61,9% и 59,4%, соответственно, для руды с содержанием 30,4% КСl и 3,25% н.о., 25,0% КСl и 4,00% н.о., 23,2% КСl и 4,95% н.о.

Снижение содержания хлорида калия обусловлено увеличивающимся содержанием в руде хлорида натрия с 63,69-64,72% до 68,64-69,95 и 69,20-71,29%. Основное содержание, нерастворимого в воде остатка наблюдается во фракции -0,165 мм и -0,50 +0,25 мм. Однако содержание фракции -0,165 мм не превышает 0,3-1,0% и не оказывает существенного влияния на содержание н.о. в руде. Снижение содержания КСl в руде приводит к увеличению н.о. во фракциях -0,50 мм.

**Таблица 1** – Фракционный и химический состав сильвинитовой руды с различным содержанием КСl и нерастворимого в воде остатка

Размер зерна, мм	Содержание фракций, %	Химический состав, масс. %			
		NaCl	КСl	н.о.	H <sub>2</sub> O
Содержание КСl в сильвините 30,4 % и н.о. 3,25 %					
+0,90	63,6	64,72	31,80	1,48	0,44
-0,90 ÷ +0,65	9,1	64,57	31,75	1,70	0,43
-0,65 ÷ +0,50	6,9	64,09	31,60	2,32	0,45
-0,50 ÷ +0,25	17,25	63,09	30,90	4,02	0,44
-0,25 ÷ +0,165	2,43	65,26	29,75	2,94	0,45
-0,165 ÷ +0,125	0,4	64,23	28,98	4,79	0,44
-0,125	0,5	63,69	28,28	6,03	0,45
Содержание КСl в сильвините 25,0 % и н.о. 4,00 %					
+0,90	61,9	69,95	23,15	1,90	0,45
-0,90 ÷ +0,65	9,3	69,14	26,11	2,74	0,46
-0,65 ÷ +0,50	7,9	68,66	25,99	3,36	0,44
-0,50 ÷ +0,25	17,5	68,23	25,41	4,36	0,45
-0,25 ÷ +0,165	2,5	69,10	24,50	4,39	0,46

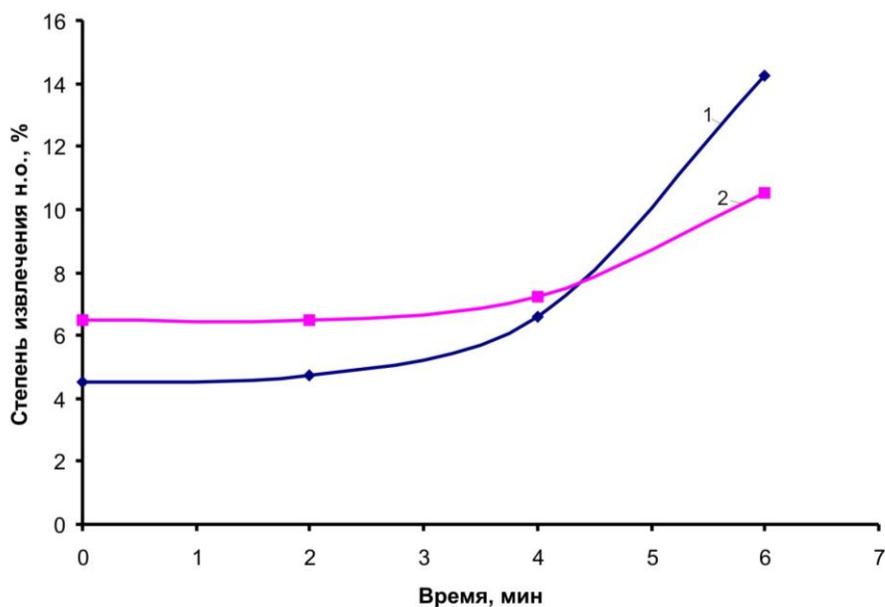


-0,165 ÷ +0,125	0,4	69,06	23,84	5,10	0,45
-0,125	0,5	68,64	23,26	6,10	0,45
Содержание КСІ в сильвините 23,2% и н.о. 4,95 %					
+0,90	59,4	71,29	24,25	2,46	0,45
-0,90 ÷ +0,65	10,1	70,40	24,21	3,39	0,44
-0,65 ÷ +0,50	8,1	70,17	24,12	4,16	0,46
-0,50 ÷ +0,25	18,9	69,08	23,53	5,39	0,45
-0,25 ÷ +0,165	2,8	69,84	22,73	5,44	0,44
-0,165 ÷ +0,125	0,3	69,57	22,12	6,32	0,44
-0,125	0,4	69,20	21,54	7,55	0,46

В практике флотационного обогащения калийных руд для устранения отрицательного действия водонерастворимых примесей проводится предварительное обесшламливание, которое осуществляется гидромеханическим, флотационным методами или сочетанием этих методов. Для усиления процесса предварительного гидромеханического обесшламливания на ряде зарубежных фабрик используют процесс оттирки шламов. Для интенсификации процесса гидромеханического обесшламливания сильвинитовой руды Тюбегатанского месторождения проведены исследования по предварительной оттирке шламов. Оттирку проводили в фарфоровой ступке при содержании твердого 60%.

Результаты опытов по оттирке шламов из руды с содержанием н.о. 3,2% приведены в таблице 2, результаты опытов по оттирке шламов из руды с содержанием н.о. 5% - в таблице 3.

Для руды с исходным содержанием 3,2% нерастворимого в насыщенном растворе остатка извлечение н.о. составляет 66,51% для фракции +0,1 мм и 33,49% для фракции -0,1%. В случае оттирки шламов из руды извлечение н.о. из фракций +0,1 мм снижается через 2, 4 и 6 минут до 63,31, 61,36 и 60,40%, соответственно, в то время как извлечение н.о. из фракции -0,1% повышается до 36,69, 38,04 и 39,60%. Извлечение н.о. из фракции от -0,1 до +0,25 мм возрастает и уменьшается из фракции -0,25 +0,1 мм при мокром рассеве исходной руды. Аналогичная зависимость наблюдается и для исходной руды с содержанием 4,95% н.о. и при предварительной оттирке с различным исходным содержанием н.о.



**Рис. 1.** Степень извлечение н.о. в зависимости от времени оттирки руды с исходным содержанием нерастворимого остатка 1 - 3,2% и 2 - 4,95%.

На рисунке 1 приведены данные изменения н.о. «свободных» шламов для руды с содержанием 3,2% и 4,95% н.о. для фракции -0,1 мм при предварительной оттирке шламов. Содержание н.о. «свободных» шламов с увеличением времени оттирки увеличивается с 4,54% до 14,26% для руды с содержанием 3,2% н.о. и с 6,47% до 10,55% для руды с содержанием 4,95% н.о.

Из данных, приведённых в таблицах 2-3, видно, что осуществление оттирки шламов из руды перед её обесшламливанием увеличивает извлечение н.о. в шламовый продукт на 2 – 2,5% и уменьшает содержание н.о. в питании сильвиновой флотации на 0,1 – 0,15%.

При содержании н.о. в руде ~ 5%, несмотря на относительно небольшое увеличение извлечения н.о. в шламовый продукт гидромеханического обесшламливания руды, проведение предварительной оттирки шламов окажет положительное влияние на флотацию сильвина, что объясняется заметным увеличением количества нерастворимых примесей, извлекаемых в шламовый продукт по сравнению с обесшламливанием руды с содержанием н.о. 3,2%.

Полученные результаты показывают, что предварительная оттирка шламов из руды заметно увеличивает извлечение н.о. в мелкую фракцию руды (-0,1 мм) и в «свободные» шламы и тем больше, чем длительнее процесс оттирки. С целью установления солевого состава нерастворимого в воде

остатка были сняты рентгенофазовые дифрактограммы и ИК-спектры (рис. 2, 3).

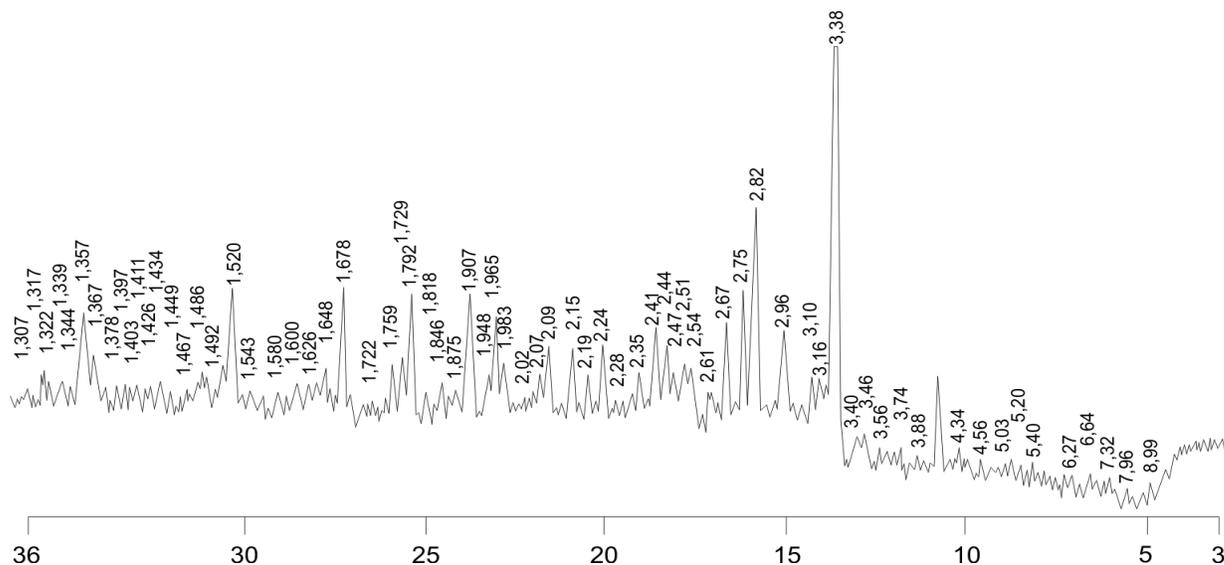


Рис. 2. Рентгенограмма нерастворимого в воде остатка.

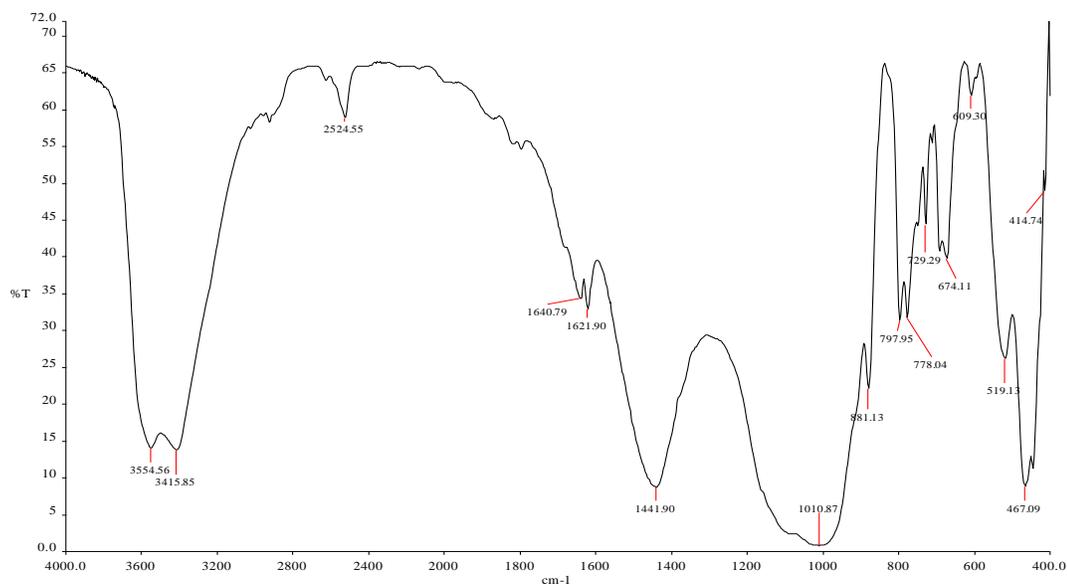


Рис. 3. ИК-спектр нерастворимого в воде остатка.

Таблица 2 – Результаты опытов по оттирке шламов из руды



Тюбегатанского месторождения с содержанием нерастворимого остатка  
3,2 %.

Фракция, мм	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		н.о.	КСІ	н.о.	КСІ
Мокрый рассев исходной руды					
-1 ÷ +0,8	9,700	2,01	32,09	6,184	8,573
-0,8 ÷ +0,63	11,210	1,66	34,55	5,902	10,667
-0,63 ÷ +0,4	22,240	1,95	37,34	13,754	22,872
-0,4 ÷ +0,25	29,900	2,51	38,13	23,802	31,400
-0,25 ÷ +0,1	14,260	3,73	37,08	16,869	14,563
+ 0,1	87,310	2,40	36,63	66,511	88,074
-0,1 ÷ + 0,0 (общая)	12,690	8,32	34,12	33,489	11,926
в т. ч.					
Солевая фракция	12,370	7,38	34,87	28,953	11,880
«Свободное» н.о.	0,320	44,69	5,21	4,536	0,046
Руда	100,000	3,15	36,31	100,000	100,000
Время оттирки 2 минуты					
- 1 ÷ + 0,8	9,950	1,85	31,53	5,753	8,982
-0,8 ÷ + 0,63	10,830	1,66	34,29	5,619	10,632
- 0,63 ÷ + 0,4	23,340	1,65	36,20	12,036	24,189
- 0,4 ÷ + 0,25	29,320	2,65	36,92	24,283	30,991
- 0,25 ÷ + 0,1	13,620	3,67	35,23	15,622	13,737
+ 0,1	87,060	2,33	35,52	63,313	88,530
- 0,1 ÷ + 0,0 (общая)	12,940	9,07	30,96	36,687	11,470
в т. ч.					
Солевая фракция	12,620	8,10	31,56	31,948	11,403
«Свободное» н.о.	0,320	47,39	7,36	4,739	0,067
Руда	100,000	3,20	34,93	100,000	100,000
Время оттирки 4 минуты					
- 1 ÷ + 0,8	10,760	1,91	31,74	6,481	9,898
- 0,8 ÷ + 0,63	8,850	1,76	33,52	4,912	8,597
-0,63 ÷ + 0,4	23,970	1,79	36,60	13,531	25,426
- 0,4 ÷ + 0,25	28,950	2,29	36,73	20,907	30,817
- 0,25 ÷ + 0,1	15,880	3,22	35,08	16,126	16,145
+ 0,1	88,410	2,22	35,47	61,957	90,883



- 0,1 ÷ + 0,0 (общая)	11,600	10,40	27,12	38,043	9,117
в т. ч.					
Солевая фракция	10,830	9,21	28,38	31,455	8,908
«Свободная» н.о.	0,770	27,13	9,40	6,588	0,210
Руда	100,010	3,17	34,50	100,000	100,000
Время оттирки 6 минуты					
- 1 ÷ + 0,8	9,450	1,92	30,65	5,611	8,227
- 0,8 ÷ + 0,63	11,980	1,72	33,41	6,372	11,368
- 0,63 ÷ + 0,4	23,320	1,67	36,93	12,043	24,461
- 0,4 ÷ + 0,25	29,760	2,37	37,66	21,810	31,833
- 0,25 ÷ + 0,1	13,570	3,47	37,17	14,561	14,326
+ 0,1	88,080	2,22	36,06	60,396	90,216
- 0,1 ÷ + 0,0 (общая)	11,920	10,74	28,90	39,604	9,784
в т. ч.					
Солевая фракция	10,360	7,91	30,74	25,340	9,045
«Свободная» н.о.	1,560	29,57	16,68	14,264	0,739
Руда	100,000	3,23	35,21	100,000	100,000

**Таблица 3** – Результаты опытов по оттирке шламов из руды Тюбегатанского месторождения с содержанием нерастворимого остатка 4,95%

Фракция, мм	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		н.о.	КСИ	н.о.	КСИ
Мокрый рассев исходной руды					
- 1,0 ÷ + 0,8	10,30	3,81	32,49	7,92	9,33
- 0,80 ÷ + 0,63	10,98	3,27	35,11	9,25	10,76
- 0,63 ÷ + 0,4	22,87	3,22	37,72	14,90	24,06
- 0,4 ÷ + 0,25	28,71	4,19	37,88	24,31	30,34
- 0,25 ÷ + 0,1	14,75	6,47	35,78	19,27	14,72
+ 0,1	87,61	4,16	36,51	73,65	89,21
-0,1 ÷ + 0,0 (общая)	12,39	10,52	31,22	26,35	10,79
в т.ч.					
Солевая фракция	11,74	8,38	32,43	19,88	10,62



«Свободное» н.о.	0,65	49,24	9,33	6,47	0,17
Руда	100,00	4,95	35,85	100,00	100,00
Время оттирки 2 минуты.					
- 1,0 ÷ + 0,8	9,44	3,51	33,45	6,88	8,59
- 0,80 ÷ + 0,63	10,68	3,13	39,01	6,94	11,33
- 0,63 ÷ + 0,4	26,88	3,10	38,55	17,30	28,18
- 0,4 ÷ + 0,25	27,47	4,00	37,79	22,82	28,24
- 0,25 ÷ + 0,1	14,19	5,86	35,47	17,27	13,69
+ 0,1	88,67	3,87	29,53	71,21	90,02
-0,1 ÷ + 0,0 (общая)	11,33	12,24	32,39	28,78	9,98
в т.ч.					
Солевая фракция	10,32	10,41	33,49	22,31	9,40
«Свободное» н.о.	1,01	31,03	21,04	6,48	0,58
Руда	100,00	4,82	36,77	100,00	100,00
Время оттирки 4 минуты.					
- 1,0 ÷ + 0,8	9,00	3,31	33,04	6,31	8,32
- 0,80 ÷ + 0,63	10,55	3,03	34,36	6,77	10,15
- 0,63 ÷ + 0,4	23,11	2,89	37,86	14,14	24,50
- 0,4 ÷ + 0,25	30,56	3,65	36,98	23,61	31,63
- 0,25 ÷ + 0,1	16,24	5,77	36,55	19,82	16,62
+ 0,1	89,46	3,73	28,21	70,65	91,21
-0,1 ÷ + 0,0 (общая)	10,54	13,15	29,79	29,35	8,79
в т.ч.					
Солевая фракция	9,47	11,02	30,59	22,10	8,11
«Свободное» н.о.	1,07	32,02	22,71	7,25	0,68
Руда	100,00	4,72	35,73	100,00	100,00



На рентгенограмме имеются дифференциальные максимумы, относящиеся к карбонатам кальция, магния к двухводному и безводному сульфату кальция. Пики 5,40; 4,56; 3,16 и 2,47 Å принадлежат сульфату кальция, 3,40; 1,875; 1,626 Å принадлежат кальциту, а пики 3,38; 2,75; 2,44; 1,818; 1,434 Å – силикатам.

На ИК-спектрах имеются полосы поглощения 1008,44 см<sup>-1</sup>, относящиеся к сульфатным группам. Полосы поглощения 3557,42; 3430,55 см<sup>-1</sup> относятся к полугидрату и дигидрату гипса, а полосы поглощения 878,32; 467,21 см<sup>-1</sup> – к

#### и 4. Заключение.

Таким образом, процесс оттирки шламов может быть использован при обесшламливании руды Тюбегатанского месторождения в качестве дополнительной операции, усиливающей процесс механического обесшламливания руды.

#### т 5. Список литературы:

а 1. Рекомендации по применению калийных удобрений под хлопчатник на почвах, подверженных засолению. Ташкент: Изд-во Министерства сельского хозяйства, 1979, 7 с.

2. Самадий М.А., Ёрбобоев Р.Ч. Исследование процесса обогащения сильвинитовой руды на УП «Дехканабадский завод калийных удобрений» / «Умидли кимёгарлар»: Труды XXIII – научно – технической конференции молодых ученых, магистрантов и студентов бакалавриата. 1 том, 29 апреля – 2 мая 2014 г. Ташкент 2014. С – 141-142.

3. Самадий М.А., Тураев К.А., Ёрбобоев Р.Ч., Мирзакулов Х.Ч. Исследования по улучшению качества гидромеханического обесшламливания руды Тюбегатанского месторождения / «Проблемы внедрения инновационных идей, технологий и проектов в производства»: Сборник материалов Республиканской научно-технической конференции. 16-17 мая 2014 г. Джиззак, 20 14. С – 357-358.

4. Самадий, М. А. Технология получения сульфата калия из мирабилита и хлорида калия Тюбегатанского месторождения / М. А. Самадий, Б. У. Абдуллаев, И. И. Усманов // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2023. – Т. 59, № 4. – С. 334–340. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2023-59-4-334-340>

в  
е  
р