

ИЗУЧЕНИЕ КОАГУЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СУЛЬФАТА АЛЮМИНИЯ НА ОСНОВЕ АНГРЕНСКОГО КАОЛИНА

Мамаджанов З.Н.

Заведующий кафедрой НамИСИ, доцент, PhD

Шамшидинов И.Т.

Профессор НамИСИ, DSc

Абдуллаев А.Н.

Директор JSC «Indorama Kokand fertilizers and chemicals»

Турсунов Л.А.

Стажёр исследователь НамИСИ

Сайфидинов О.И.

Магистрант НамИСИ

<https://doi.org/10.5281/zenodo.6958125>

Аннотация. В работе приведены данные о коагулирующей способности сульфата алюминия, полученного из каолина Ангреноского месторождения при очистке речной воды. Для этой цели изучены химические составы речных и подземных вод, а также очистка их от взвешенных веществ с использованием коагулянта сульфата алюминия.

Ключевые слова: алюмосиликаты, каолин, бентонит, оксид алюминия, глинозем, коагулянт, сульфат алюминия, сульфат железа (III), водоочистка, производство бумаги.

STUDYING THE COAGULATING ABILITY OF ALUMINUM SULFATE BASED ON ANGREN KAOLIN

Abstract. The paper presents data on the coagulating ability of aluminum sulfate obtained from kaolin of the Angren deposit during the purification of river water. For this purpose, the chemical compositions of river and ground waters were studied, as well as their purification from suspended solids using aluminum sulfate coagulant.

Keywords: aluminosilicates, kaolin, bentonite, aluminum oxide, clay, coagulant, aluminum sulphate, iron (III), water treatment, paper manufacture.

ВВЕДЕНИЕ

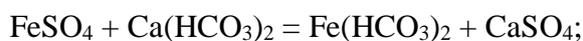
В процессе водопотребления требуется очистка природных вод, т.е. удаление грубой (размер частиц до 10^{-3} мм), тонкой (10^{-3} - 10^{-4} мм) взвеси, коллоидно-дисперсных веществ (10^{-6} - 10^{-4} мм) и цветности. Грубая и тонкая взвесь обычно состоит из песка, глины, животных и растительных остатков, продуктов коррозии конструкционных материалов. В коллоидном состоянии могут находиться органические вещества, окислы металлов (например железа, меди и др.), кремнекислые соединения. Удаление из воды тонкой взвеси и коллоидных веществ, возможно, осуществить только путем вывода специальных реагентов. Этот процесс называют коагуляцией.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Физико-химический процесс коагуляции сложен, и нет стехиометрических соотношений между дозируемым коагулянтом и количеством растворенных коллоидных веществ.

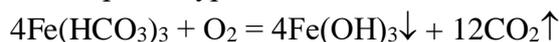
Для осуществления процесса коагуляции в качестве коагулянта применяются сернокислый алюминий (глинозем) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, сернокислый железо (железный купорос) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и хлорное железо $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ [1, С. 124].

При достаточном содержании в воде солей карбонатной жесткости реакция взаимодействия может быть изображена следующими уравнениями [2, С.56-67]:



Гидроокиси алюминия и железа с твердыми коллоидными частицами образуют флоккулы и осаждают их [3-9]. Значит, одновременно снижается карбонатная жесткость и повышается прозрачность. В природных водах (особенно артезианских) двухвалентное железо образует коллоидные частицы, которых необходимо удалить. Для чего проводят аэрацию воды и пропускают через сульфуголь (с катализатором) в определённых условиях. Существует метод аэрации с последующим хлорированием или известкованием. Когда требуется умягчение и обезжелезивание воды, применяют метод катионирования. Соединение двухвалентного железа – бикарбонаты устойчивы при отсутствии окислителей и при $\text{pH} > 7,5$. С кислородом воздуха происходит его окисление до трёхвалентного с выпадением осадка гидроокиси. Наличие в воде солей меди, марганца или фосфатов и контакт воды в присутствии кислорода с выпавшими осадками ускоряет процесс окисления двухвалентного железа в трёхвалентное.

Этот процесс может быть выражен уравнением:



При окислении на 1 мг Fe^{2+} расходуется 0,143 мг O_2 , увеличивается содержание углекислоты на 1,6 мг/л, а щелочность снижается на 0,036 мг-экв/л. В зависимости от условий (наличия окислителей, $\text{pH} > 10$, содержание $\text{Fe}^{2+} > 10$ мг/л и др.) окисление может предшествовать гидролизу, идти параллельно с ним или окислению может, подвергается продукт гидролиза двухвалентного железа $\text{Fe}(\text{OH})_2$. При умягчении и осветлении воды применяются различные методы [10-18].

Изучена коагулирующая способность полученного продукта из Ангрэнского каолина при очистке речной воды.

Поэтому нами изучены химические составы речных и подземных вод на территории Наманганской области Республики Узбекистан, а также очистка их от взвешенных веществ с использованием полученных нами продуктов.

На территории в селе Норинкапа Наманганской области имеются несколько (в основном три) источников подземных вод на расстоянии одного километра один от другого, а еще один 2 км западнее в селе Учтепа. Поэтому эту местность называются «Учбулок». Эти источники считаются святыми.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Нами впервые изучены органолептический и химический состав этих вод и сопоставлен с составом речной воды реки Норин. Образцы отобрали весной, когда происходит мутнение вода из-за проливных дождей.

Установлено, что вода реки Норин прозрачная, без запаха и имеет особый, своеобразный приятный вкус. Водородный показатель её почти нейтральный ($\text{pH} = 7,8$),

ионы аммония и нитритов отсутствуют, содержание нитратов 0,67 мг/дм³, хлоридов 21,3 мг/дм³, сульфатов 57,6 мг/дм³, бикарбонатов 142 мг/дм³, которые нейтрализуют катионы кальция 45,2 мг/дм³, магния 19,4 мг/дм³, натрия 5,93 мг/дм³ и калия 1,25 мг/дм³. Общая жёсткость воды составляет 3,85 мг-экв/дм³ (табл.4.3).

Интересные результаты были получены при изучении вод «Учбулок». рН этих вод составляет 7.

По химическому составу эти воды отличаются от речной воды реки Норин. Так, в первом источнике (табл.1) аммонийные и нитритные ионы отсутствуют. А содержание нитратов 0,50 мг/дм³, хлоридов 28,1 мг/дм³, сульфатов 91,2 мг/дм³, бикарбонатов 310,5 мг/дм³. Содержание что сульфатов и бикарбонатов в 1,5-2,0 раза, катионы кальция, магния, калия в 2 раза и натрия в 3 раза больше чем в речной воде. Соответственно в 2 раза больше и общая жесткость воды.

Таблица 1

Органолептический и химический состав образцов воды

№ п.п.	Наименование показателей	Единица измерения	Обнаруженная концентрация из воды				Нормативно - технической документации и на метод анализа
			Норин	1-источника	2-источника	3-источника	
1.	Запах	балл	0	0	0	0	ГОСТ 3351-74
2.	Привкус	балл	0	0	0	0	ГОСТ 3351-74
3.	Цветность	град	0	0	0	0	ГОСТ 3351-74
4.	Мутность	мг/дм ³	0	0,010	0,01	0,01	РД 118.3897485.6-92
5.	Прозрачность	см	30	30	30	30	РД 118.3897485.6-92
6.	Водородный показатель (рН)	-	7,8	7,0	7,0	7,0	РД 118.3897485.6-92
7.	Окисляемость	мг/дм ³	0,61	0,58	0,56	0,62	РД 118.3897485.6-92
8.	Ионы аммония NH ₄ ⁺	мг/дм ³	0	0	0	0	РД 118.3897485.16-92
9.	Ионы нитрита NO ₂ ⁻	мг/дм ³	0,009	0,009	0,012	0,007	МВИ 265:2005

10.	Ионы нитрата NO_3^-	мг/дм ³	0,67	0,14	0,5	0,44	РД 118.3897485. 12-92
11.	Общая жесткость	мг- экв/дм ³	3,85	7,71	6,77	5,64	ГОСТ 4151- 72
12.	Ионы кальция Ca^{2+}	мг/дм ³	45,2	90,4	85,7	71,6	МВИ 171:2001
13.	Ионы магния Mg^{2+}	мг/дм ³	19,4	38,9	30,3	25,2	МВИ 171:2001
14.	Ионы натрия Na^+	мг/дм ³	5,93	31,04	21,75	14,16	МВИ 171:2001
15.	Ионы калия K^+	мг/дм ³	1,25	4,0	2,5	5,0	МВИ 171:2001
16.	Хлориды Cl^-	мг/дм ³	21,3	34,5	28,1	24,2	О'zO'U 0418:2009
17.	Сульфаты SO_4^{2-}	мг/дм ³	57,6	124,8	91,2	72,0	О'zO'U 0458:2009
18.	Бикарбонаты HCO_3^-	мг/дм ³	142,7	339,2	310,5	256,8	О'zO'U 0458:2009
19.	Ионы железа Fe^{3+}	мг/дм ³	0,06	0,08	0,08	0,07	РД 118.3897485. 9-92
20.	Ионы меди Cu^{2+}	мг/дм ³	0	0	0	0	О'zO'U 0522:2011
21.	Ионы цинка Zn^{2+}	мг/дм ³	0	0	0	0	О'zO'U 0522:2011
22.	Ионы свинца Pb^{2+}	мг/дм ³	0	0	0	0	О'zO'U 0522:2011
23.	Ионы молебдена Mo^{2+}	мг/дм ³	0	0	0	0	О'zO'U 0522:2011
24.	Фториды F^-	мг/дм ³	0,06	0	0,7	0,21	ГОСТ 4386- 81
25.	Арсениты AsO_3^{3-}	мг/дм ³	0	0	0	0	ГОСТ 4152- 81
26.	Бромиды Br^-	мг/дм ³	0	0	0	0	О'zO'U 0418:2009
27.	Иодиды I^-	мг/дм ³	0	0	0	0	О'zO'U 0418:2009
28.	Общая минерализация	мг/дм ³	230,0	493,0	415,0	415,0	

Во втором источнике содержание катионов немного больше чем в первом источнике (табл.1).

Третьем источнике (табл. 1) содержание калия в 2 раза больше чем в первом источнике, а остальных катионов и жесткость немного меньше.

Для воды из источников особенно характерно содержанием карбонатов (310,5; 339,2 и 256,8 мг/дм³), так содержащая более 500 мг/дм³ карбонатов вода является лечебной.

Вода является слабоминерализованной (400-450 мг/дм³), хлоридно-сульфатно-бикарбонатной (по анионам), калийно-натриево-магниевое-кальциевой (по катионам).

Коагулирующую способность полученного нами сульфата алюминия (образец №1) изучали в сравнении с коагулянтами используемыми на практике, поставляемыми из-за рубежа (образцы №2 и №3). Химический состав образца №1 (масс. %): Al₂O₃ = 14,1; Fe₂O₃ = 0,8; H₂SO₄ = 0,1; нерастворимые остатки = 0,5%, а образца №2 и №3: Al₂O₃ = 15,2; Fe₂O₃ = 0,3; H₂SO₄ = 0,1; нерастворимые остатки = 0,5%.

Для этого отобрали пробы речной воды из Северного Ферганского канала (ручейка реки Норин) в мае месяц (состав приведен в табл.2).

Таблица 2

Содержание ионов и солей в речной воде Северного Ферганского канала

№ п.п.	Состав	Количество, мг/л
1.	Сульфаты	246,65
2.	Хлориды	117,05
3.	Кальций (Ca ²⁺)	82,0
4.	Магний (Mg ²⁺)	27,6
5.	Жесткость	6,4
6.	Сухой остаток	625,0
7.	NH ₄ ⁺	3,39
8.	NO ₂ ⁻	0,019
9.	Биологическая потребность кислорода (БПК)	4,68
10.	Химическая потребность кислорода (ХПК)	14,8
11.	O ₂	6,5
12.	pH	6,9
13.	Fe ³⁺	0,014
14.	t ⁰ C	10 ⁰ C

ОБСУЖДЕНИЕ

Из-за проливных дождей мутность воды повышается и соответственно повышается и расход коагулянта (0,1%-ного раствора, т.е. 5,8 мг/л); особенно весной до 120-130 мл на литр воды, т.е. до 0,7-0,75 мг-экв/л до прозрачности 8,0-9,0 см (обычно для осветление воды вводят 0,5- 1,2 мг-экв/л, а при высоком содержании железа дозу повышают до 1,5 мг-экв/л). На рис.1 показан расход коагулянта концентрацией 5,8 мг-экв/л водного раствора сульфата алюминия (Al₂(SO₄)₃) в миллилитрах на 1 л воды.

Отобранную пробу воды подвергали химическому анализу. Заливали в мензурки объемом 1 л каждая (30 штук). Вводили водные растворы коагулянтов различной концентрации (по 10 проб для каждого образца коагулянтов), т.е. в миллилитрах растворенные в воде образцы №1, №2 и №3 в количестве 5,8 мг/экв по Al₂(SO₄)₃ (0,1%-ный). После чего каждую пробу отстаивали по одному часу. Из каждого цилиндра

отобрали воду и заливали в цилиндр Снеллена. Этот цилиндр установлен на специальный штатив, т.е. закреплен на металлическом стержне, который имеет резиновый поддон. Цилиндр градуирован от 1 до 30 см. по высоте. В низу на расстоянии 4 см от цилиндра ставится шрифт. Изменением высоты воды с помощью тубуса цилиндра (сливом воды) определяется видимость шрифта от высоты водяного столба. Эта высота показывает прозрачность, т.е. степень осветление воды (рис.1).

Из рисунка 2 видно, что при использовании коагулянта образца №1 при концентрации 40 мл (т.е. 0,23 мг-экв/л) достигается максимум прозрачности воды 9,0 см, образца №2 прозрачность – 7,0 см, а образца №3 при концентрации 0,3 мг-экв/л прозрачность составляет 7,0 см.

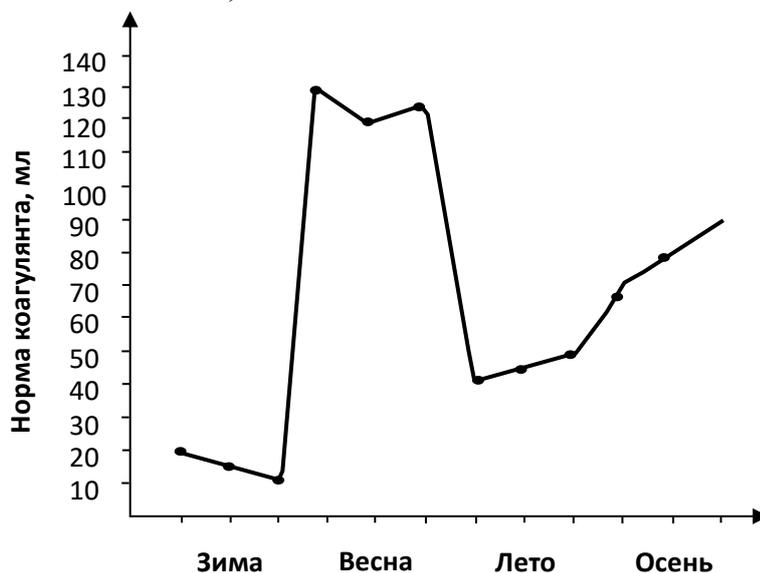


Рис.1. Расход коагулянта – сульфата алюминия для осветления речной воды Северно-Ферганского канала в периодах года

При введении в процесс флокулянта полиакриламида (ПАА) концентрацией 1,0 мг/л осветление до желаемой прозрачности необходимо повысить и дозу коагулянта, так максимальная прозрачность воды при использовании образца №1 в количестве 60 мл (0,35 мг-экв/л) прозрачность составляет 9,0 см, образца №2 при концентрации 0,52 мг-экв/л 7,0 см, а образца №3 при такой же концентрации прозрачность составляет 9,0 см. С уменьшением дозу ПАА до 0,5 мг/л благоприятно влияет на осветление, т.е. улучшается флокулообразования. Так, при введении образца №1 в воду в количестве 0,23 мг-экв/л и 0,5 мг/л ПАА прозрачность достигает до 10,0 см, а образца №2 при концентрации 17,4 мг-экв/л 9,0 см, а образца №3 при концентрации 0,23 мг-экв/л она доходит до 9,0 см [19; С. 48-54, 20].

ВЫВОДЫ

Таким образом, установлено, что полученный нами продукт по своим коагулирующим свойствам не уступает коагулянтам зарубежного образца. По-видимому, длительное хранение при перевозке отрицательно влияет на состав и свойства импортных коагулянтов.

Технология переработки каолинов Ангрэнского месторождения на коагулянт – сульфата алюминия апробирована в опытно-промышленных условиях путём выпуска опытной партии и внедрена на АО «Qo`qon superfosfat zavodi». Опытная партия передана

государственному унитарному предприятию «Сувокава» Наманганской области для использования при очистке питьевой воды.

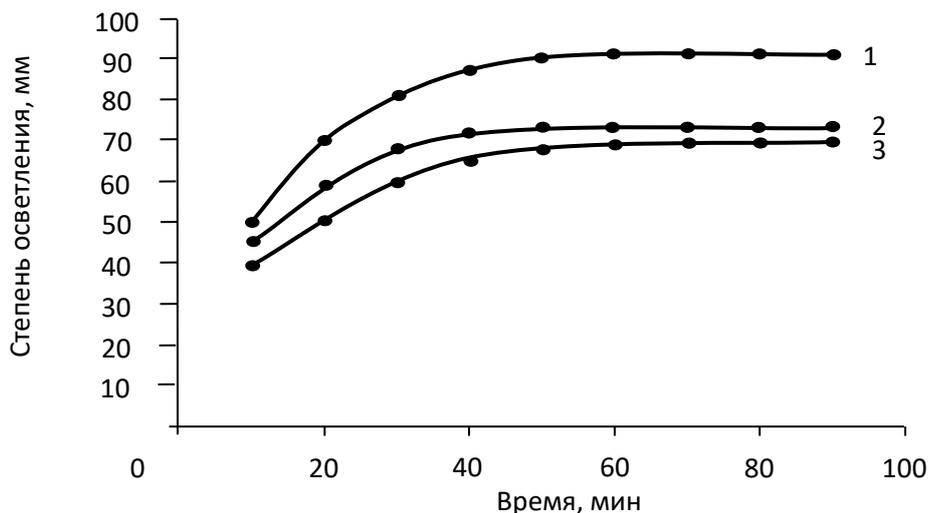


Рис.2. Изменение видимости шрифта от высоты слоя в зависимости от нормы сульфата алюминия. 1-коагулянт на основе Ангреного каолина, 2-коагулянт Celtex GMBH (США), 3-коагулянт Golden Noble.

REFERENCES

1. Обзор рынка коагулянтов в СНГ (Демонстрационная версия). – М.: ИнфоМайн, 2008. – 124 с.
2. Запольский А.К, Баран А.А. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: Свойства. Получения. Применения. – Л.: Химия, 1987. – 208 с.
3. Shamshidinov, I. T., Mamadaliev, A. T., & Mamajanov, Z. N. (2014). Optimization of the process of decomposition of aluminosilicate of clays with sulfuric acid. In The First International Conference on Eurasian scientific development (pp. 270-275).
4. Шамшидинов, И. Т. (2014). Технология неорганических веществ и минеральных удобрений: Учебник для профессиональных вузов. ИТ Шамшидинов.
5. Мамаджанов, З. Н., & Шамшидинов, И. Т. (2018). Исследование процесса выщелачивания алюминия из каолиновых глин Ангреного месторождения. *Universum: технические науки*, (3 (48)), 33-36.
6. Арисланов, А. С., Шамшидинов, И. Т., Мамаджанов, З. Н., & Рустамов, И. Т. (2020). Способ получения сульфата алюминия из местных бентонитов. In *International scientific review of the problems of natural sciences and medicine* (pp. 11-17).
7. Шамшидинов, И. Т., Мамаджанов, З. Н., & Мухиддинов, Д. Х. (2020). Наманганский инженерно-технологический институт, г. Наманган, Узбекистан. *Инновационные исследования: теоретические основы и практическое*, 12.
8. Шамшидинов, И. Т., & Тураев, З. (2015). Технология производства сульфата алюминия из вторичных каолинов в промышленных условиях. *Europaische Fachhochschule*, (6), 87-90.
9. Gafurov, U. K., Shamshidinov, I. T., & Ismatov, A. A. (2001). Obtaining aluminium sulphate from raw caolines of Angren. *Uzbekskii khimicheskii zhurnal*, (6), 3-5.

10. Шамшидинов, И. Т., Мамаджанов, З. Н., & Мамадалиев, А. Т. (2014). Изучение коагулирующей способности сульфата алюминия полученного из ангреного каолина. In Наука XXI века: теория, практика, перспективы (pp. 48-55).
11. Шамшидинов, И. Т. (2017). Разработка усовершенствованной технологии производства экстракционной фосфорной кислоты и получения концентрированных фосфорсодержащих удобрений из фосфоритов Каратау и Центральных Кызылкумов. Дисс.... докт. техн. наук, Ташкент.
12. Шамшидинов, И. Т., З. Н. Мамаджанов, and А. Т. Мамадалиев. "Изучение коагулирующей способности сульфата алюминия полученного из ангреного каолина." Наука XXI века: теория, практика, перспективы. 2014.
13. Шамшидинов, И. Т., З. Н. Мамаджанов, and Д. Х. Мухиддинов. "Наманганский инженерно-технологический институт, г. Наманган, Узбекистан." Инновационные исследования: теоретические основы и практическое (2020): 12.
14. Шамшидинов, Исраилжон Тургунович, and Зокиржон Тураев. "Технология производства сульфата алюминия из вторичных каолинов в промышленных условиях." *Europäische Fachhochschule* 6 (2015): 87-90.
15. Шамшидинов, И. Т. "Разработка усовершенствованной технологии производства экстракционной фосфорной кислоты и получения концентрированных фосфорсодержащих удобрений из фосфоритов Каратау и Центральных Кызылкумов." Дисс.... докт. техн. наук, Ташкент (2017).
16. Gafurov UK, Shamshidinov IT, Ismatov AA. Obtaining aluminium sulphate from raw caolines of Angren. *UZBEKSKII KHIMICHESKII ZHURNAL*. 2001(6):3-5.
17. Мамаджанов, З. Н. (2018). Исследование процессов сернокислотной переработки местных алюмосиликат и получение коагулянтов на их основе.
18. Mirjalol, K., Kholtura, M., & Zokir, M. (2019). Study of the process of ammonization of nitrogen-acid solutions of the leaving of the kaolin clays of the Angren deposit. *CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING*, 2019(1), 2.
19. Шамшидинов И.Т., Мамаджанов З.Н., Мамадалиев А.Т. Изучения коагулирующей способности сульфата алюминия полученного из ангреного каолина // «Наука XXI века: теория, практика, перспективы», Россия, г.УФА, Сборник статей. РИО МЦИИ «ОМЕГА САЙНС» 2014 г. – С. 48-54.
20. Шамшидинов, И. Т., & Тураев, З. (2015). Технология производства сульфата алюминия из вторичных каолинов в промышленных условиях. *Europäische Fachhochschule*, (6), 87-90.
21. Шамшидинов, И. Т. (2017). Разработка усовершенствованной технологии производства экстракционной фосфорной кислоты и получения концентрированных фосфорсодержащих удобрений из фосфоритов Каратау и Центральных Кызылкумов. Дисс.... докт. техн. наук, Ташкент.
22. «2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси» тўғрисидаги Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон [Фармони](#). – Тошкент. – 2022.\
23. Мамуров, Б. А., Шамшидинов, И. Т., Усманов, И. И., & Кодирова, Г. К. (2019). Исследование процесса нейтрализации экстракционной фосфорной кислоты мелом. *Universum: химия и биология*, (2 (56)), 21-26.

24. G'afurov Q., Shamshidinov I. Mineral o'g'it ishlab chiqarish nazariyasi va texnologik hisoblari. – T.: Fan va texnologiya, 2010. – 360 b.
25. Shamshidinov I.T. Noorganik moddalar va mineral o'g'itlar texnologiyasi: Darslik. – T.: IQTISOD-MOLIYA, 2014. – 324 b.
26. Национальный доклад о состоянии окружающей среды и использовании природных ресурсов в Республике Узбекистан (1988-2007). – Ташкент, 2008. – 298 с.
27. Степень и экономические последствия фторидного загрязнения. Обзорная информация. – Обнинск, 1983. – Вып.1. – 55 с.
28. Васяев Г.В., Шевченко Т.П. О содержании фтора в урожае // Записки Ленинградского с-х. ин-та. – Л.: Изд-во ЛСХИ, 1974. – Т. 218. – С.10-18.
29. Халитов А.Х., Розин В.И. О необходимости исключения фтора из состава минеральных удобрений / В кн. Интенсификация сельскохозяйственного производства и проблемы защиты окружающей среды. – М.: Наука, 1980. – 296 с.
30. Israiljon Turgunovich. Shamshidinov. Переработка фосфоритов Каратау и Центральных Кызылкумов на экстракционную фосфорную кислоту и концентрированные фосфорсодержащие удобрения. – М.: Издательство Lambert Academic Publishing, 2021. – 225 с. (монография)
31. World Fertilizer trends and Outlook to 2018. Food and Agriculture Organization of the Unated Nations. Rome, FAO, 2015. – P. 55.
32. Зайцев В.А., Родин В.И. Влияние фтора на организм животных // Журн. ВХО им. Д.И.Менделеева, 1979. – Т. 24. – № 1. – С. 42-47.
33. Кочетков С.П. Смирнов Н.Н., Ильин А.П. Концентрирование и очистка экстракционной фосфорной кислоты. – Иваново: ГОУВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2007. – 304 с.
34. Шамшидинов, И. Т. (2014). Технология неорганических веществ и минеральных удобрений: Учебник для профессиональных вузов. ИТ Шамшидинов.
35. Gafurov, K., Shamshidinov, I. T., & Arislanov, A. S. (2020). Sulfuric acid processing of high-magnesium phosphates and obtaining NPS-fertilizers based on them. Monograph. Publishing house "Istedodziyo press" Namangan, 26-27.
36. G'afurov, Q., & Shamshidinov, I. (2010). Mineral o'g'it ishlab chiqarish nazariyasi va texnologik hisoblari. T.: Fan va texnologiya, 360.
37. Кодирова, Г. К., Шамшидинов, И. Т., Тураев, З., & Нажмиддинов, Р. Ю. У. (2020). Исследование процесса получения высококачественных фосфатов аммония из экстрактной фосфатной кислоты на основе фосфоритов Центрального Кызылкума. Universum: технические науки, (12-3 (81)), 71-75.
38. Шамшидинов, И. Т. (1994). Получение удобрений типа двойного суперфосфата из фосфоритов Каратау.
39. Нажмиддинов, Р. Ю., Кодирова Г.Қ., Меликүзиева, Г. Қ., Зокиров, М., & Юсупов, И. (2022). Марказий Қизилқум фосфоритларидан таркибида кальций ва магний бўлган концентрланган фосфорли оддий ўғитлар олиш. Ijtimoiy fanlarda innovasiya onlayn ilmiy jurnali, 2(6), 56-61.
40. Шамшидинов, И. Т. (2017). Исследование процесса переработки фосфоритов Каратау на концентрированные фосфорные удобрения по поточной технологии. Universum: технические науки, (3 (36)), 29-34.