

ОШ МАМЛЕКЕТТИК УНИВЕРСИТЕТИНИН ЖАРЧЫСЫ. ХИМИЯ. БИОЛОГИЯ.
ГЕОГРАФИЯ

ВЕСТНИК ОШСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА. ХИМИЯ. БИОЛОГИЯ.
ГЕОГРАФИЯ

JOURNAL OF OSH STATE UNIVERSITY. CHEMISTRY. BIOLOGY. GEOGRAPHY

e-ISSN: 1694-8688

№2(7)/2025, 31-41

ХИМИЯ

УДК: 661.862.522:006.354

DOI: [10.52754/16948688_2025_2\(7\)_4](https://doi.org/10.52754/16948688_2025_2(7)_4)

**СЕРНОКИСЛОТНАЯ ПЕРЕРАБОТКА КАОЛИНА АНГРЕНСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

АНГРЕН КЕНИНИН КАОЛИНИН КУКУРТ КИСЛОТАЛЫК КАЙРА ИШТЕТУУ

SULFURIC ACID PROCESSING OF KAOLIN ANGRENA DEPOSIT

Шамшидинов Исраилжон Тургунович

Шамшидинов Исраилжон Тургунович

Shamshidinov Israiljon

Наманганский государственный технический университет, Наманган, Узбекистан

Наманган мамлекеттик техника университети, Наманган, Узбекистан

Namangan State Technical University, city Namangan, Uzbekistan

israiljon2010@mail.ru

Мамаджанов Зокир Нематжанович

Мамаджанов Зокир Нематжанович

Matadzhanov Zokir

Наманганский государственный технический университет, Наманган, Узбекистан

Наманган мамлекеттик техника университети, Наманган, Узбекистан

Namangan State Technical University, city Namangan, Uzbekistan

zokirjon.mamadjanov.79@mail.ru

Мамадалиев Адхамжон Тухтамирзаевич

Мамадалиев Адхамжон Тухтамирзаевич

Matadaliev Adkhamjon

Наманганский государственный технический университет, Наманган, Узбекистан

Наманган мамлекеттик техника университети, Наманган, Узбекистан

Namangan State Technical University, city Namangan, Uzbekistan

adhamjon6300@gmail.com

Мамадалиев Рустам Комилжонович

Мамадалиев Рустам Комилжонович

Matadaliev Rustam

Наманганский государственный технический университет, Наманган, Узбекистан

Наманган мамлекеттик техника университети, Наманган, Узбекистан

Namangan State Technical University, city Namangan, Uzbekistan

rustam.mamadaliyev88@mail.ru

Полотов Ибраим Женишбекович

Полотов Ибраим Женишбекович

Polotov Ibraim

Ошский государственный университет, Ош, Кыргызстан

Ош мамлекеттик университети, Ош, Кыргызстан

Osh State University, Osh city, Kyrgyzstan

ipolotov@oshsu.kg

СЕРНОКИСЛОТНАЯ ПЕРЕРАБОТКА КАОЛИНА АНГРЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Аннотация

В статье изучены процессы сернокислотной переработки каолина Ангреновского месторождения. С целью разработки технологии получения коагулянта - сульфата алюминия из каолина, изучено разложение алюмосиликатной глины, предварительно увлажненной концентрированной серной кислотой, и разработана технологическая схема получения продукта. Для исследования использован каолин Ангреновского месторождения состава (масс. %): $\text{Al}_2\text{O}_3=21,73$, $\text{Fe}_2\text{O}_3=1,68$, $\text{SiO}_2=65,2$, $\text{TiO}_2=0,4$, $\text{CaO}=0,4$, $\text{MgO}=0,65$, $\text{R}_2\text{O}=0,8$, $\text{SO}_3=0,6$, п.п.п.= 8,5. Каолин прокаливали при температуре от 400°C до 800°C в течение 60-120 минут, определяя потери веса. Спек разлагали 60%-ной серной кислотой в течение 60 минут при температуре 80°C и норме серной кислоты 100% от стехиометрии для связывания Al_2O_3 в $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Максимальная степень извлечения алюминия отмечается при концентрации серной кислоты 60%. При этом степень извлечения алюминия составляет 97,1%, а железа 82,5%. Проведенные исследования по разложению прокаленного каолина при температуре 650-700°C в течение 1 часа показали возможность получения раствора сульфата алюминия со степенью извлечения при выщелачивании не менее 96,0%. Оптимальными технологическими параметрами извлечения алюминия из каолина серной кислотой являются концентрация кислоты 60%, норма 100%, температура не ниже 80°C, продолжительность процесса не менее 1 часа.

Ключевые слова: каолин, оксид алюминия, глинозем, коагулянт, сульфат алюминия, прокатка, шлам, извлечения, сульфат железа (III), водоочистка, питьевая вода, прозрачность.

АНГРЕН КЕНИНИН КАОЛИНИН КҮКҮРТ КИСЛОТАЛЫК КАЙРА ИШТЕТҮҮ

SULFURIC ACID PROCESSING OF KAOLIN ANGRENA DEPOSIT

Аннотация

Макалада Ангрэн кенинин алынган каолинди күкүрт кислотасы менен иштетүү процесси изилденет. Каолинден коагулянт — алюминий сульфатын алуу технологиясын иштеп чыгуу максатында, концентралданган күкүрт кислотасы менен алдын ала нымдалган алюмосиликаттуу чопонун ажыроо процесси изилденип, продукту алуунун технологиялык схемасы сунушталган. Изилдөө үчүн Ангрэн кенинин каолини колдонулган, анын курамы (салм. %): $\text{Al}_2\text{O}_3 - 21,73$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 1,68$, $\text{SiO}_2 - 65,2$, $\text{TiO}_2 - 0,4$, $\text{CaO} - 0,4$, $\text{MgO} - 0,65$, $\text{R}_2\text{O} - 0,8$, $\text{SO}_3 - 0,6$, жоготуулар — 8,5. Каолин 400°Cден 800°Cге чейинки температурада 60–120 мүнөт аралыгында кальциленип, салмак жоготуулары аныкталган. Алынган торт 60% концентрациядагы күкүрт кислотасы менен 80°C температурада 60 мүнөт бою иштетилген. Ал жерде Al_2O_3 менен $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ байланышын камсыздоо үчүн кислотанын нормасы стехиометрия боюнча 100% түзгөн. Алюминийди алуу даражасы 60% концентрациядагы күкүрт кислотасы колдонулганда эң жогору болуп, 97,1% түзгөн, ал эми темир — 82,5%. Каолинди 650–700°C температурада 1 саат бою кальцилеп, андан кийин ыдыратуу аркылуу алюминий сульфатынын эритмесин 96,0%дан кем эмес экстракциялык деңгээл менен алуу мүмкүнчүлүгү аныкталган. Каолинден алюминийди күкүрт кислотасы менен алуудагы оптималдуу технологиялык параметрлер: кислотанын концентрациясы — 60%, нормасы — 100%, температура — 80°Cден кем эмес, процесс узактыгы — 1 сааттан кем болбошу керек.

Abstract

The article studies the processes of sulfuric acid processing of kaolin from the Angren deposit. In order to develop a technology for producing a coagulant - aluminum sulfate from kaolin, the decomposition of aluminosilicate clay pre-moistened with concentrated sulfuric acid was studied, and a process flow chart for obtaining the product was developed. For the study, kaolin from the Angren deposit was used with the following composition (mass.%): $\text{Al}_2\text{O}_3=21,73$, $\text{Fe}_2\text{O}_3=1,68$, $\text{SiO}_2=65,2$, $\text{TiO}_2=0,4$, $\text{CaO}=0,4$, $\text{MgO}=0,65$, $\text{R}_2\text{O}=0,8$, $\text{SO}_3=0,6$, п.п.п.= 8,5. Kaolin was calcined at a temperature of 400 °C to 800 °C for 60-120 minutes, determining weight loss. The cake was decomposed with 60% sulfuric acid for 60 minutes at a temperature of 80 °C and a sulfuric acid rate of 100% of the stoichiometry for binding Al_2O_3 to $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. The maximum degree of aluminum extraction is noted at a sulfuric acid concentration of 60%. In this case, the degree of aluminum extraction is 97.1%, and iron 82.5%. The conducted studies on the decomposition of calcined kaolin at a temperature of 650-700 °C for 1 hour showed the possibility of obtaining an aluminum sulfate solution with an extraction rate during leaching of at least 96.0%. The optimal technological parameters for extracting aluminum from kaolin with sulfuric acid are an acid concentration of 60%, a rate of 100%, a temperature of at least 80 °C, and a process duration of at least 1 hour.

Ачык сөздөр: каолин, алюминий оксиди, глинозем, коагулянт, алюминий сульфаты, кальцинация, шлам, экстракция, темир (III) сульфаты, сууну тазалоо, ичүүчү суу, тунуктук.

Keywords: kaolin, alumina, alumina, coagulant, aluminum sulfate, iron (III), water treatment, drinking water, transparency

Введение

Сульфат алюминия – наиболее распространенный коагулянт для очистки питьевых и промышленных вод. В больших количествах он применяется в целлюлозно-бумажной промышленности, при крашении тканей, при дублении кож, для консервации дерева, в производстве древесноволокнистых и древесностружечных плит, в промышленности искусственных волокон и т.д. [1].

Путем кислотной, в частности сернокислотной обработки алюмосиликатов из них получают сульфат алюминия, который используется в качестве коагулянта на водоочистных, бумажных и других предприятиях [2,3,4,5].

Коагуляция (лат. *coagulum* — сгусток, *coagulatio* — свертывание, загустевание) — процесс, при котором частицы в дисперсных, особенно коллоидных, системах объединяются, образуя укрупненные агрегаты. По мере коагуляции происходит помутнение, а агрегаты оседают или образуют верхний слой. Процесс коагуляции используется и эксплуатируется во многих отраслях производства и промышленности [6,7,8,9].

Для такого процесса в составе было меньше комбинаций соединений железа (особенно Fe²⁺), с низким содержанием соединений требуется основной компонент - алюмосиликаты, богатые оксидом алюминия.

На оксиде алюминия, который имеет в своем составе много соединений железа, а также те компоненты, которые считаются важными для других отраслей обрабатывающей промышленности (например, соединения калия являются наиболее необходимым минеральным удобрением для сельского хозяйства), важно перерабатывать бедные алюмосиликаты и превращать их в эффективные продукты [10].

Известны способы [11,12] переработки богатых по основному компоненту (Al₂O₃ = 38-43%) бокситов на сульфат алюминия через стадию получения гидроксида алюминия. Технология состоит из нескольких стадий, каждая из которых является самостоятельным производством. Из-за многостадийности процесса имеются большие потери основного продукта, что приводит к снижению выхода и повышению себестоимости продукта.

Известны способы [13,14] переработки алюминиевого сырья с высоким содержанием основного компонента (каолинов, нефелинов и алунитов) на глинозем, путем кислотного разложения и выщелачивания. При этом каолинитовое сырье обжигают при температуре 500-800^оС, выщелачивание проводят растворами серной (31%, 50-55% и 63-65%) или азотной кислот при температуре 90-105^оС и более, в течение 6-8 часов. При этом во избежание избытка серной кислоты в продукте количество серной кислоты для связывания Al₂O₃ берут ниже 100% (около 90-95%) от стехиометрии. Это приводит к снижению выхода продукта.

Материалы и методы.

Во всех кислотных способах недостатками является трудность отделения осадка (шлама), промывки шлама, низкий выход основного вещества и большие энергозатраты [15].

Известные способы получения сульфата алюминия не приемлемы для условий нашей страны, так как отсутствуют богатые по оксиду алюминия источники сырья.

В республике имеются богатейшие залежи каолиновых глин в районе города Ангрена, запасы которых составляют более 1 млрд. т [16].

Результаты и обсуждение.

Для теоретического обоснования рационального использования каолиновых глин в различных производствах весьма важно знание физико-химических процессов протекающих при кислотном разложении.

Для исследования использован каолин Ангреноского месторождения состава (масс. %): $Al_2O_3=21,73$, $Fe_2O_3=1,68$, $SiO_2=65,2$, $TiO_2=0,4$, $CaO=0,4$, $MgO=0,65$, $R_2O=0,8$, $SO_3=0,6$, п.п.п.= 8,5.

Каолин прокаливали при температуре от 400 $^{\circ}C$ до 800 $^{\circ}C$ в течение 60-120 минут, определяя потери веса. Спек разлагали 60%-ной серной кислотой в течение 60 минут при температуре 80 $^{\circ}C$ и норме серной кислоты 100% от стехиометрии для связывания Al_2O_3 в $Al_2(SO_4)_3$. В таблице 1. приведены данные влияние температуры обжига на степень извлечения алюминия и железа при 100% норме 60% серной кислоты, при температуре 80 $^{\circ}C$ и продолжительности процесса 1 час.

Табл.1 - Влияние температуры и продолжительности обжига на содержание кислоторастворимых форм и степень извлечения алюминия и железа

t, $^{\circ}C$	Время обжига, минут	Потеря веса, %	Содержание кислоторастворимых форм, масс. %		Степень извлечения, %	
			Al_2O_3 %	Fe_2O_3 %	Al_2O_3 %	Fe_2O_3 %
400	60	2,0	1,77	0,55	10,6	42,5
400	120	2,8	2,09	0,62	12,5	48,3
500	60	5,4	12,27	0,73	48,4	56,7
500	120	6,4	13,17	0,79	52,8	61,2
550	60	7,1	15,50	0,93	78,7	71,6
600	60	7,6	15,72	1,01	94,1	78,5
600	120	8,0	15,93	1,06	95,3	81,8
650	60	9,2	16,01	1,07	95,8	83,1
700	60	9,4	16,08	0,75	96,2	57,9
700	120	9,6	15,31	0,67	91,6	52,2
750	60	9,6	11,98	0,60	71,7	46,8
800	60	9,6	8,27	0,57	49,5	44,1

Из табл. 1 видно, что температура прокали 400 и 500 $^{\circ}C$ практически не влияет на изменение содержания кислоторастворимых форм алюминия и железа каолинов Ангреноского месторождения. Максимальная степень извлечения оксида алюминия при указанных технологических параметрах наблюдается при температуре обжига 650-700 $^{\circ}C$. Степень извлечения при этом составляет 95,8-96,2% а остаточное содержание оксида алюминия в шлаке составляет 4,34%, железа извлекается 57,9-83,1% от имеющегося в исходном каолине количества.

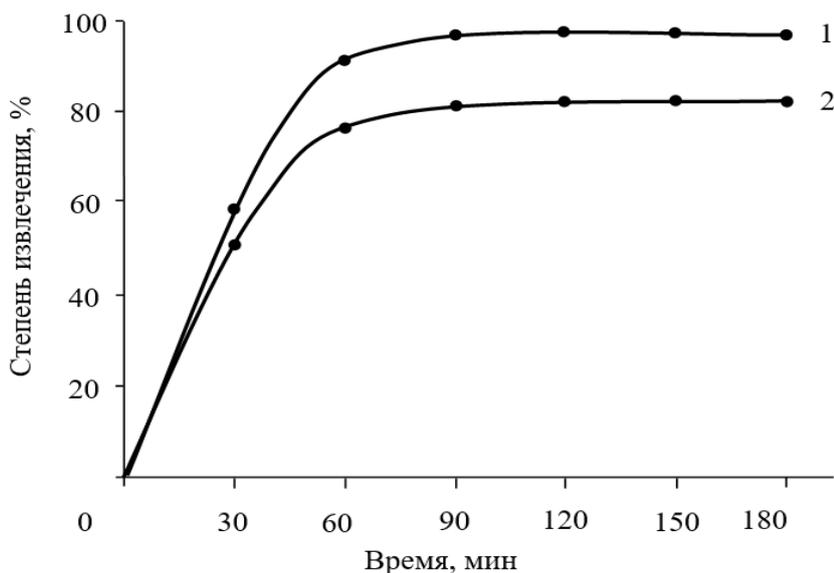


Рис. 1. Влияние продолжительности процесса прокаливания на степень извлечения:

1 – по Al₂O₃, 2 - по Fe₂O₃

Повышение температуры прокаливания до 750-800^оС приводит к снижению степени извлечения алюминия до 71,7 и 49,5%.

Потеря веса при прокаливании повышается с 2,0-2,8% при 400^оС до 9,4-9,6% при 700^оС.

Проведенные исследования показывают, что оптимальной является температура прокаливания 650-700^оС.

Для выявления влияния продолжительности прокаливания на степень извлечения оксида алюминия 60% серной кислотой при норме 100% проведены исследования с каолином, прокаленным при температуре 650^оС в течение 30, 60, 90, 120, 150 и 180 минут. Полученные результаты приведены на рисунке 1.

Из рисунки видно, что с увеличением продолжительности прокаливания с 30 мин до 180 мин степень извлечения алюминия повышается с 56,5% до 96,1%, при этом степень извлечения железа составляет 81,8%. Повышение продолжительности прокаливания свыше 1 часа практически не влияет на степень извлечения оксидов алюминия и железа.

Таким образом, проведенные исследования показали возможность повышение степень извлечения оксида алюминия из каолиновых глин Ангренского месторождения путем предварительного обжига при температуре 650-700^оС в течение 1 часа. При этом степень извлечения алюминия составляет не менее 95,3%.

Дальнейшие исследования были направлены на разложение прокаленного каолина при 650-700^оС в течение 1 часа растворами серной кислоты. Изучено влияние концентрации и нормы серной кислоты, температуры и продолжительности процесса разложения на степень извлечения алюминия и железа.

Влияние концентрации серной кислоты изучали при 100%-ной норме, температуре 80^оС и продолжительности процесса 1 час. Полученные результаты приведены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что максимальная степень извлечения алюминия отмечается при концентрации серной кислоты 60%. При этом степень извлечения алюминия составляет 97,1%, а железа 82,5%.

Табл. 2 - Влияние концентрации серной кислоты на степень извлечения алюминия из прокаленного каолина

Концентрация H ₂ SO ₄ , %	Степень извлечения, %	
	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
20	5,1	51,1
30	30,3	65,4
40	54,8	76,3
50	78,4	83,6
60	97,1	82,5
70	85,2	67,2
80	69,0	48,3
90	47,6	27,8

До концентрации серной кислоты 60% степени извлечения алюминия и железа возрастают. Так, при концентрации кислоты 40% степень извлечения составляет для алюминия 54,8%, а для железа 76,3%. С повышением концентрации степень извлечения железа значительно увеличивается. Однако, с повышением концентрации серной кислоты выше 60% степень извлечения железа снижается быстрее, чем степень извлечения алюминия. Снижение степени извлечения алюминия при концентрации кислоты свыше 60% объясняется насыщением системы сульфатом алюминия и кристаллизацией его на поверхности каолина, препятствующего диффузии серной кислоты к частицам сырья. Более резкое снижение степени извлечения железа объясняется тем, что взаимодействие железа с концентрированными растворами серной кислоты затрудняется.

В таблице 3 приведены данные влияния нормы серной кислоты на степень извлечения оксидов алюминия и железа при концентрации кислоты 50, 55 и 60%, температуре 80°C и продолжительности процесса 1 час.

Табл. 3 - Влияние нормы и концентрации серной кислоты на степень извлечения оксида алюминия из прокаленного каолина

Норма H ₂ SO ₄ , %	Степень извлечения, %	
	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
H ₂ SO ₄ - 50%		
50	36,4	33,6
75	59,5	63,6
100	75,7	83,5
125	78,2	88,8
H ₂ SO ₄ - 55%		
50	40,7	30,3
75	67,1	62,7
100	89,4	83,1
125	92,8	87,4
H ₂ SO ₄ - 60%		

50	43,6	28,2
75	71,8	61,8
100	97,1	82,5
125	99,8	84,6

Из табл. 3 видно, что с повышением нормы серной кислоты степени извлечения алюминия и железа возрастают и достигают значений 78,2-99,8 % и 84,6-88,8%, соответственно. Однако, с повышением концентрации серной кислоты с 50% до 60% степень извлечения железа в раствор снижается. Так, при норме серной кислоты 100% степень извлечения алюминия повышается с 75,7 до 97,1%, тогда как степень извлечения оксида железа снижается с 83,5 до 82,5%.

Приведенные данные подтверждают полученные ранее данные о использовании серной кислоты с концентрации 60% при норме кислоты не менее 100%.

Для установления оптимального времени выщелачивания оксидов алюминия и железа из прокаленного каолина проведены исследование по разложению Ангреновского каолина 60% серной кислотой при нормы 100% от стехиометрии при температуре 800С. Результаты исследований приведены в таблице 4.

Табл. 4 - Влияние продолжительности процесса разложения на степень извлечения оксида алюминия из каолина

Время, минут	Степень извлечения, %	
	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
30	75,5	71,8
60	97,1	82,5
120	97,3	82,9
180	97,4	83,1

Из полученных данных видно, что с увеличением продолжительности процесса выщелачивания степени извлечения алюминия и железа повышаются. Степень извлечения алюминия повышается с 75,5% при продолжительности процесса 30 минут до 97,4% через 3 часа. При этом степень извлечения железа повышается с 71,8% до 83,1%. Оптимальным временем выщелачивания является 60 минут, так как дальнейшее увеличение продолжительности процесса практически не влияет на степени извлечения ни алюминия, ни железа.

Влияние температуры разложения на степень извлечения алюминия и железа изучали при выявленных оптимальных технологических параметрах: концентрации серной кислоты 60%, норме 100%, продолжительности процесса 1 час. Полученные результаты приведены в таблице 5.

Как видно из таблицы 5 повышение температуры способствует увеличению степени извлечения алюминия. Так, при повышении температуры с 800С до 1100С степень извлечение алюминия повышается с 97,1% до 98,2%. При этом степень извлечения оксида железа снижается с 82,5% до 73,6%. Это согласуется со справочными данными, согласно которым растворимость сульфата железа с повышением температуры до 500С увеличивается, а начиная с 500С, за счет гидролиза, наблюдается заметное снижение

извлечения железа. Необходимо отметить, что при этом сульфат алюминия не подвергается гидролизу, поэтому растворимость сульфата алюминия с повышением температуры монотонно увеличивается.

Табл.5. - Влияние температуры разложения на степень извлечения алюминия и железа из прокаленного каолина

Температура, °С	Степень извлечения, %	
	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
50	90,4	82,7
80	97,1	82,5
90	97,9	80,7
100	98,1	77,3
110	98,2	73,6

Выводы.

Таким образом, проведенные исследования по разложению прокаленного каолина при температуре 650-700°С в течение 1 часа показали возможность получения раствора сульфата алюминия со степенью извлечения при выщелачивании не менее 96,0%. Оптимальными технологическими параметрами извлечения алюминия из каолина серной кислотой являются концентрация кислоты 60%, норма 100%, температура не ниже 80°С, продолжительность процесса не менее 1 часа.

Литература

1. Mamadzhonov Zokir (2018). Study of the processes of sulfuric acid processing of local aluminosilicates and obtaining coagulants based on them. Doctor of Philosophy dissertation in technical sciences. Tashkent.2
2. Mamadzhonov Z.N., Shamshidinov I.T. Study of the process of aluminum leaching from kaolin clays of the Angren deposit // Universum: technical sciences: electron. scientific. Journal. 2018. - No. 3 (48). - S. 33-36.
3. Kenjayev M, Mirzakulov Kh, Mamadjanov Z. 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.
4. Patent №. IAP 05574 (UZ). Method for obtaining feed precipitate/ Shamshidiov I.T., Usmanov I.I., Mamadzhonov Z.N.//Publ. 07.31.2015. Bul. № 7.
5. Khaitov B., Abdullaev M. Mamadjanov Z. The use of electrochemical activated water during the propagation of biomaterials in a biofactory. // International Journal of scientific and technology resersch. 2020/02. P-1001-1104. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57215011916>.
6. Akmaljon Arislanov, Israiljon Shamshidinov, Ikham Usmanov, Gayrat Normatov and Oybek Isomiddinov. The process of decomposition of tricalcium phosphate by phosphoric acid with partial replacement of P₂O₅ to sulfuric acid. participated in the IX International Conference on Advanced Agritechologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-IX-2023) on 6 November 2023 | Namangan, Uzbekistan. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57189054750>.

7. Ahmed Karam; Emad S. Bakhom; Khaled Zaher. Coagulation/flocculation process for textile mill effluent treatment: experimental and numerical perspectives. *International Journal of Sustainable Engineering*. Volume 14, 2021. issue 5. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57195722107>.
8. Azmi Ahmad, Setyo Budi Kurniawan, Siti Rozaimah Sheikh Abdullah, Ahmad Razi Othman, Hassimi Abu Hasan. Exploring the extraction methods for plant-based coagulants and their future approaches. *Science of The Total Environment*. Volume 818, 20 April 2022, 151668. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721067449>
9. Ghita El Mouhri, Ibtissame Elmansouri, Halima Amakdouf, Hajar Belhassan, Rabie Kachkoul, Fatima Ezzahra El oumari, Mohammed Merzouki, Anissa Lahrichi. Evaluating the effectiveness of coagulation–flocculation treatment on a wastewater from the moroccan leather tanning industry: An ecological approach. *Contents lists available at ScienceDirect*. Volume 10, Issue 5, 15 March 2024, e27056. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57208717932>
10. Ahmad, A., Abdullah, S.R.S., Hasan, H.A., Othman, A.R., Kurniawan, S.B. Aquaculture wastewater treatment using plant-based coagulants: Evaluating removal efficiency through the coagulation–flocculation process. *Results in Chemistry*. Volume 7, January 2024, Номер статьи 101390. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.085185909995&origin=inward&txGid=517ab5dd55beb5a30c967f8d087287c0>
11. А.с. № 1423498 (SU). МПК С 01F7/06. Способ переработки бокситов на глинозем / Логинова И.В. и др // Оpubл. 1988. БИ- №34.
12. А.с. 1284945 (SU). МПК С 01F7/74 Способ получение гидратированного сульфата алюминия / Соколь В.А. и др. // Оpubл. 1987. БИ- №3.
13. Позин М.Е. Технология минеральных солей. – М.: Химия, 1974. Ч.1. – С. 632-660.
14. Мамаджанов З.Н. Исследование процессов сернокислотной переработки местных алюмосиликатов и получение коагулянтов на их основе: Дис. ... докт.филос. (Doctor of Philosophy) по техн. наук. – Ташкент, 2018. – 117 с.
15. Mamadzhanov Z.N., Shamshidinov I.T. Study of the process of aluminum leaching from kaolin clays of the Angren deposit // *Universum: technical sciences: electron. Scientific. Journal*. 2018. - No. 3 (48). - S. 33-36.
16. Шамшидинов И. Т., Тураев З. Мамажанов З.Н. Технология производства сульфата алюминия из вторичных каолинов в промышленных условиях // *Europaische Fachhochschule*. – 2015. – №. 6. – С. 87-90.