

УДК 502.16 (075)

**ИЗУЧЕНИЕ КОАГУЛИРУЮЩИХ СВОЙСТВ НОВОГО
НЕОРГАНИЧЕСКОГО КОАГУЛЯНТА**

Канд. техн. наук	У.Ш. Мусина
Доктор техн. наук	С.С. Нуркеев
	Л.С. Курбанова
	Г.Б. Жаркимбаева
	Г.Р. Ахмедова

Приведены результаты исследований по очистке сточных вод с использованием нового коагулянта – сульфатного смешанного алюмо-железо-кремниевого из краснооктябрьских бокситов. Определен дисперсионный состав взвешенных веществ в сточных водах, оптимальная доза коагулянта для исследования коагулирующих свойств и кинетики осветления хозяйственно бытовых и промышленных сточных вод.

Одной из основных технологических операций при очистке сточных и природных вод от взвешенных веществ является разделение жидкой и твердой фаз. Возникающие при этом затруднения связаны с малым размером частиц и высокой устойчивостью системы. Интенсифицировать этот процесс возможно за счет укрупнения частиц в агрегаты под воздействием коагулянтов и флокулянтов.

В настоящее время в качестве эффективного коагулянта применяется преимущественно сернокислый алюминий, реже сульфаты железа и смешанные алюможелезистые коагулянты, в качестве флокулянтов чаще используется полиакриламид (ПАА).

Одним из вариантов получения эффективного коагулянта, обладающего хорошими коагулирующими свойствами в широком диапазоне pH – сульфатного смешанного алюмо-железисто-кремниевого коагулянта (ССАЖКК) – является разложение боксита серной кислотой с максимальным извлечением алюминия, железа и кремния.

Краснооктябрьский боксит химического состава, %: Al_2O_3 – 42,89; Fe_2O_3 – 5,40; FeO – 2,12; SiO_2 – 24,73; CaO – 1,54; MgO – 0,60; TiO_2 – 1,48; CO_2 – 16,15 и потери при прокаливании – 5,09.

Как показали расчеты и экспериментальные исследования, максимальное извлечение алюминия, железа и кремния будет происходить при

температурах 110...130 °С, продолжительности экспозиции 30...50 минут, концентрации серной кислоты 60 %, дозировке кислоты – 95 % от стехиометрии; Ж:Т = 1,5:1...2:1 [1].

Для исследования коагулирующих свойств нового коагулянта-флокулянта была отобрана проба, химический состав которой приведен в таблице 1 в сравнении с регламентируемыми ГОСТом чистыми солями.

Таблица 1

Технические характеристики коагулянта-флокулянта ССАЖКК

Определяемый показатель	Содержание, %	Содержание показателей для товарных продуктов, %	
		алюминий сернокислый технический неочищенный ГОСТ 5155-74	сульфат железа (III) ВТУ МХП 3876-53
Al ₂ O ₃	11,13	9,5	-
Fe ₂ O ₃	3,65	0,5	20
FeO	1,3	-	1,5
SiO ₂	7,7	-	-
H ₂ SO ₄ (свободная)	0,83	2,0	0,7
Нерастворимый осадок	7,1	2,2	1,0

Как следует из данных таблицы 1, содержание свободной кислоты и нерастворимого осадка в исследуемой пробе коагулянта превышает показатели, регламентируемые ГОСТом для солей железа и алюминия, используемых в водоподготовке.

По данным спектрального полуколичественного анализа содержание микрокомпонентов в коагулянте ССАЖКК находится на уровне фоновых значений (табл. 2).

Таблица 2

Спектральный анализ исследуемой пробы ССАЖКК

Элемент	N	Co	Mo	Ni	Pb	Se	Ti	Zn
Содержание, %	0,0045	0,031	0,00051	0,011	0,00081	0,001	0,4	0,01
Элемент	Cu	Cr	Cd	As	Sb	Te	U	Th
Содержание, %	0,0005	0,0008	0,01	0,01	0,01	0,01	0,0002	0,0002

Суммарная α-активность пробы ССАЖКК по данным радиохимического анализа $6,51 \cdot 10^{-12}$ Ки/г. Продукт не радиоактивен.

Коагулирующие свойства ССАЖКК оценивались на основе сравнительных испытаний очистки сточных вод с использованием стандартных коа-

гулянтов: сернокислого алюминия ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ГОСТ 5155-74), сульфата железа ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ГОСТ 6981-75) и хлорида железа (FeCl_3 ГОСТ 11159-65) по способности реагента:

- ускорять процесс механического осветления сточных вод;
- попутно удалять из очищаемой воды вредные катионы и анионы.

Исследовалось три типа сточных вод:

- 1) промышленная сточная вода химического производства (проба 1);
- 2) сточная вода после очистных сооружений (проба 2);
- 3) хозяйственно-бытовая сточная вода, содержащая в своем составе помимо взвешенных веществ и органики также тяжелые металлы (проба 3).

Осветляемость сточных вод определялась *методом отстаивания*. В результате исследований в пробах на протяжении всего процесса отстаивания отсутствовала четкая граница раздела осветленного слоя воды и осадка. О скорости осветления (осаждаемости взвесей) судили по изменению во времени концентрации взвешенных веществ в верхнем слое воды. Для проведения процесса осветления экспериментальным путем подбиралась оптимальная доза коагулянта. Исследуемой водой заполняли цилиндры емкостью 0,25 л и добавляли различные количества реагентов-коагулянтов с концентрацией растворов – 1 % по техническому веществу.

В течение первых 15...20 мин с быстрым перемешиванием смешивали воду с коагулянтом, в течение последующих 3...5 мин проба перемешивалась медленно. Через 30 мин после контакта коагулянта с водой отбирали пробу с верхнего слоя воды на глубине 100 мм и определяли концентрацию взвешенных веществ. Оптимальной считалась доза коагулянта, при которой содержание взвешенных веществ в верхнем слое исследуемой воды после 30 минутного отстаивания было минимальным.

Важную роль в технологии обработки вод играет не только суммарное количество взвешенных веществ, но и их дисперсионный состав.

Результаты исследования дисперсионного состава взвешенных веществ в промышленных сточных водах сведены в таблице 3.

По распределению частиц по классам крупности можно судить о способности сточных вод к самоосветлению.

В таблице 4 и на рисунках 1-3 представлены результаты кинетики осветления промышленной сточной воды без очистки, промышленной – после очистных сооружений и хозяйственной сточной воды без введения коагулянта.

Таблица 3

Дисперсионный состав взвешенных веществ

Взвешенные вещества	Размер частиц, мкм	Гидравлическая крупность, мм/с	Время осаждения, ч.	Выход частиц, %		
				проба 1	проба 2	проба 3
Мелкий ил	10...7	0,056	10...30	48,3	40,14	55,16
	7...5	0,028	1	8,65	28,66	39,17
	5...4	0,014	2	0,98	3,71	0,75
	4...3	0,009	3	0,98	7,12	0,52
Крупная глина	3...2	0,007	4	0,98	7,12	1,36
	2...1	0,006	5	0,98	0,63	1,36
Мелкая глина	1,0...0,5	0,001	24	3,27	3,07	1,36
	0,5...0,1	0,0007	40	36,76	9,55	0,32
ИТОГО				100,00	100,00	100,00

Таблица 4

Кинетика осветления сточной воды без коагулянта

Проба	Осаждаемость взвесей (%) за различное время отстаивания (ч)						
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	24
1	40,36	68,25	73,45	78,96	79,57	81,61	83,19
2	50,2	57,86	58,62	58,62	58,62	58,62	62,53
3	56,4	94,46	95,23	95,68	96,99	96,99	97,00

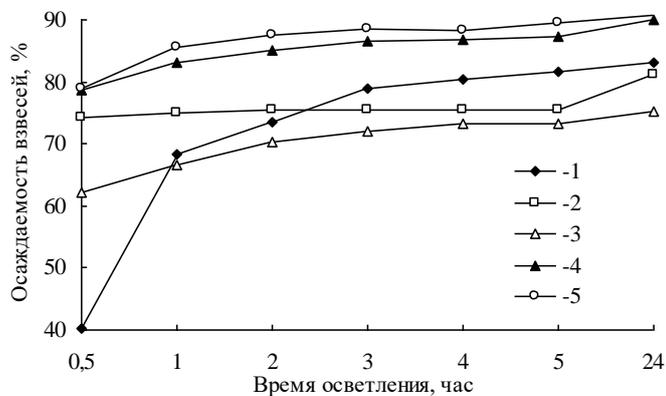


Рис. 1 – Осаждаемость взвесей промышленной сточной воды от времени ее отстаивания (проба 1). 1 – самоосветление стоков, 2 – FeSO₄·7H₂O, 3 – FeCl₃, 4 – ССАЖКК, 5 – Al₂(SO₄)₃·18H₂O.

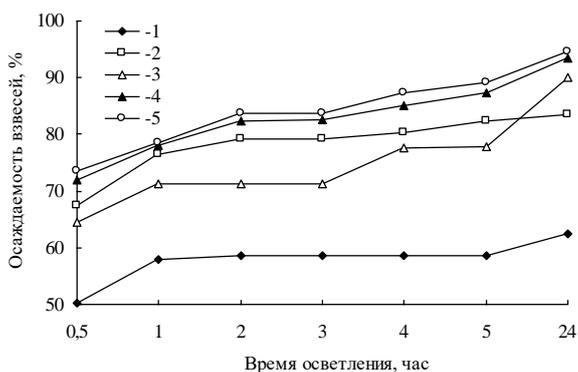


Рис. 2 – Осаждаемость взвесей промышленной сточной воды после очистных сооружений от времени ее отстаивания (проба 2). Обозначения см. рис.1.

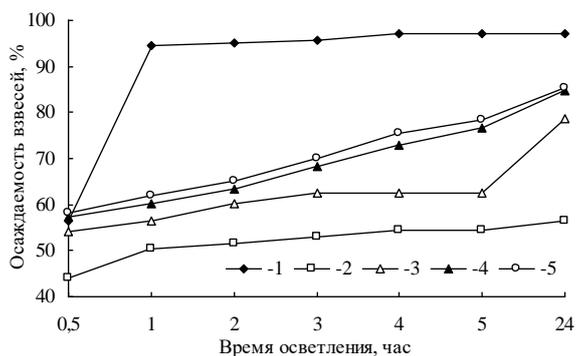


Рис. 3 – Осаждаемость взвесей хозяйственной сточной воды от времени ее отстаивания (проба 3). Обозначения см. рис.1.

Проба 1 (промышленная сточная вода химического производства) содержит, в большинстве своем, взвешенные частицы крупностью 10...5 мкм. За 3 часа осветление воды происходит на 78,9...81 %. Через 24 часа пробы осветляются на 84...97 % (рис. 1).

Проба 2 (сточная вода после очистных сооружений), представленная на 57,86 % частицами крупностью 10...5 мкм и на 36,76 % частицами крупностью 0,5 мкм, осветляется за первые 30 минут на 50,2 %, после чего происходит снижение скорости осветления (рис. 2) и за 24 часа отстаивания осаждение взвесей происходит на 62,53 %.

На рисунке 3 показано, что хозяйственная сточная вода (проба 3) имеет взвешенные вещества на 94,46 %, представленные частицами крупностью от 5 мкм и выше. Стоки осветляются практически за 1 час до 94,46 %. Осветление воды за 24 часа составляет 97,0 %.

Таблица 5

Концентрация взвешенных веществ в воде при различных дозах коагулянтов (время отстаивания 30 мин)

Проба	рН среды	Первоначальная концентрация взвешенных вредных веществ в воде, мг/дм ³	Концентрация взвешенных веществ при расходе реагентов, мг/дм ³																							
			FeSO ₄ ·7H ₂ O						FeCl ₃						ССАЖКК						Al ₂ (SO ₄) ₃ ·18H ₂ O					
			5	10	15	20	30	40	5	10	15	20	30	40	5	10	15	20	30	40	5	10	15	20	30	40
1	8,67	315,6	94	93	87	89	89	87	62	58	55	56	54	49	80	68	63	57	58	57	89	77	76	61	59	57
2	7,21	106,8	51	42	35	37	46	67	58	60	61	57	57	40	53	52	52	54	55	50	66	66	61	52	44	45
3	7,53	78,6	48	58	60	68	90	106	5,1	4,6	4,3	4,6	4,7	4,5	5,0	3,9	3,5	3,2	2,3	2,2	3,7	3,4	3,2	3,0	2,4	1,93

Таблица 6

Химический состав сточных вод

Проба	Коагулянт и его расход, мг/дм ³	Взвешенные вещества, мг/дм ³	pH	Катионы мг/дм ³ , мг·экв/л			Анионы мг/дм ³ , мг·экв/л				Общая жесткость, мг·экв/л	Сухой остаток, мг/дм ³	Вредные вещества, мг/дм ³						
				Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ²⁻ ₄	CO ²⁻ ₃	HCO ⁻ ₄			Fe	Al	Cu	Mo	Pb	As	Zn
1	Исходная вода	315,6	8,67	$\frac{430}{18,7}$	$\frac{67}{3,5}$	$\frac{26}{2,1}$	$\frac{276}{7,7}$	$\frac{96}{2,0}$	-	$\frac{892}{14,3}$	5,5	1092	0,10	0,022	0,20	0,021	0,04	0,010	0,002
	ССАЖКК 20 мг/л	57	7,52	$\frac{457}{19,8}$	$\frac{72}{3,6}$	$\frac{23}{2,0}$	$\frac{290}{8,0}$	$\frac{120}{2,5}$	$\frac{65}{1,1}$	$\frac{836}{13,7}$	5,6	1145	0,32	0,32	0,01	0,020	-	0,008	0,002
	Al ₂ (SO ₄) ₃ ·18H ₂ O 30 мг/л	59	7,47	$\frac{445}{19,2}$	$\frac{64}{3,2}$	$\frac{23}{2,0}$	$\frac{273}{7,7}$	$\frac{140}{3,0}$	$\frac{82}{1,2}$	$\frac{759}{12,5}$	5,2	1070	0,13	0,60	0,011	0,021	-	-	0,002
2	Исходная вода	106,8	7,21	$\frac{167}{7,1}$	$\frac{64}{3,2}$	$\frac{16}{1,5}$	$\frac{269}{7,5}$	$\frac{117}{2,5}$	-	$\frac{110}{1,8}$	4,5	976	0,040	0,04	0,052	0,012	0,083	0,094	0,006
	FeSO ₄ ·7H ₂ O 5 мг/л	51,0	7,30	$\frac{158}{6,8}$	$\frac{63}{3,2}$	$\frac{23}{1,8}$	$\frac{271}{7,5}$	$\frac{123}{2,5}$	-	$\frac{110}{1,7}$	5,2	1025	0,11	0,02	0,033	0,020	-	0,08	0,07
	FeCl ₃ 40 мг/л	40,0	7,15	$\frac{158}{6,8}$	$\frac{61}{3,1}$	$\frac{23}{1,8}$	$\frac{280}{7,9}$	$\frac{127}{2,6}$	-	$\frac{78}{1,2}$	5,1	1006	0,006	0,04	0,034	0,005	-	0,08	0,06
	ССАЖКК 20 мг/л	53,0	7,30	$\frac{157}{6,8}$	$\frac{64}{3,2}$	$\frac{21}{1,7}$	$\frac{272}{7,7}$	$\frac{129}{2,7}$	-	$\frac{92}{1,5}$	5,0	1015	0,006	0,03	0,025	0,010	-	-	0,06
	Al ₂ (SO ₄) ₃ ·18H ₂ O 30 мг/л	44,0	7,30	$\frac{156}{6,8}$	$\frac{65}{3,2}$	$\frac{22}{1,8}$	$\frac{270}{7,6}$	$\frac{129}{2,7}$	-	$\frac{92}{1,5}$	5,0	1012	0,004	0,06	0,031	0,002	-	0,098	0,05
3	Исходная вода	78,6	7,53	$\frac{408}{17,9}$	$\frac{65}{3,2}$	$\frac{32}{2,6}$	$\frac{407}{11,4}$	$\frac{311}{6,6}$	-	$\frac{340}{5,4}$	5,6	1386	0,02	0,035	0,01	-	0,031	0,083	-
	FeSO ₄ ·7H ₂ O 5 мг/л	48	7,75	$\frac{397}{17,1}$	$\frac{65}{3,3}$	$\frac{39}{3,0}$	$\frac{410}{11,4}$	$\frac{320}{6,6}$	-	$\frac{327}{5,1}$	6,2	1393	0,018	0,039	0,01	-	-	-	-

Проба	Коагулянт и его расход, мг/дм ³	Взвешенные вещества, мг/дм ³		Катионы мг/дм ³ , мг·экв/л			Анионы мг/дм ³ , мг·экв/л				Общая жесткость, мг·экв/л	Сухой остаток, мг/дм ³	Вредные вещества, мг/дм ³							
				pH	Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ²⁻ ₄	CO ²⁻ ₃			HCO ⁻ ₄	Fe	Al	Cu	Mo	Pb	As	Zn
	FeCl ₃ 40 мг/л	4,3	7,59	<u>395</u> 17,1	<u>64</u> 3,2	<u>38</u> 3,2	<u>413</u> 11,6	<u>306</u> 6,5	-	<u>342</u> 5,6	6,2	1389	-	0,05	0,01	-	0,010	0,020	-	
	ССАЖКК 20 мг/л	3,2	7,61	<u>418</u> 18,3	<u>66</u> 3,4	<u>39</u> 3,2	<u>425</u> 12,0	<u>341</u> 7,1	-	<u>352</u> 5,7	6,5	1316	-	0,21	0,01	-	-	0,09	-	
	Al ₂ (SO ₄) ₃ ·18H ₂ O 30 мг/л	2,4	7,52	<u>403</u> 17,3	<u>66</u> 3,4	<u>39</u> 3,3	<u>414</u> 11,7	<u>328</u> 6,9	-	<u>352</u> 5,7	6,5	1371	-	-	0,01	-	0,007	0,067	-	

Как видно в табл. 5, по мере увеличения дозировки коагулянта в сточные воды (пробы 1, 2, 3) остаточные концентрации взвешанных частиц заметно снижаются. Коагулянт ССАЖКК работает лучше $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и FeCl_3 и не уступает лучшему из всех коагулянтов – сульфату алюминия $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$.

В табл. 6 представлены результаты химического анализа сточных вод до и после коагуляции различными коагулянтами. По результатам химического анализа сточных вод видно, что применение ССАЖКК не только осветляет воду от взвесей, но так же снижает общую минерализацию, карбонатную жесткость, натрий-калиевое засоление. Для ускорения осаждаемости взвесей, химической очистки воды от примесей (Zn, As, Pb, Cu, Sb и др.) использовались неорганические коагулянты: сульфат алюминия, сульфат железа, хлорное железо, ССАЖКК.

Выбор оптимальной дозы коагулянтов проводился с учетом концентрации взвешенных веществ в сточных водах и приведен в таблице 7.

Таблица 7

Сравнительный расход коагулянтов

Коагулянт	Расход коагулянта при содержании взвешенных веществ в воде от 10...100 мг/дм ³ , мг/дм ³	Расход коагулянта при содержании взвешенных веществ в воде от 100...600 мг/дм ³ , мг/дм ³
	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	10...15
FeCl_3	10...15	30...40
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	5...10	10...15
ССАЖКК	10...15	30...40

В таблице 8 приведена оптимальная доза коагулянтов для проб сточных вод.

Таблица 8

Оптимальные расходы коагулянтов для очистки сточных вод

Проба	Расход коагулянтов, мг/дм ³			
	$\text{Fe SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	FeCl_3	ССАЖКК	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
1	15	40	40	40
2	5	40	20	30
3	15	15	30	30

Анализ полученных данных показывает, что коагулянт ССАЖКК, при правильно подобранной дозе, не уступает по коагулирующим свойствам сульфату алюминия.

Исследование кинетики осветления сточных вод при использовании коагулянтов. Для определения скорости осветления исследуемых сточных вод с коагулянтами использовали стандартный метод. Данные по осаждаемости

взвесей при подаче коагулянтов сведены в таблицу 9. Наиболее четко коагулирующая способность ССАЖКК проявляется при осветлении вод, содержащих трудноосветляемые взвеси с крупностью частиц 3...1 мкм (проба 2). Для взвесей, содержащих частицы крупностью 10...3 мкм, ССАЖКК значительно ускоряет процесс механического осветления (проба 1).

Данные анализов по химической очистке сточных вод приведены в таблице 9. Для хозяйственной сточной воды (проба 3), имеющей высокую скорость самоосветления, ССАЖКК применялся с целью химической очистки воды.

Таблица 9

Данные по осаждаемости взвесей в сточных водах в зависимости от вида применяемого коагулянта

Проба	Время осветления, час.	Осаждаемость без коагулянта	Реагент			
			FeSO ₄ ·7H ₂ O	FeCl ₃	ССАЖКК	Al ₂ (SO ₄) ₃ ·18H ₂ O
1	0,5	40,36	74,18	61,20	78,56	78,8
	1,0	68,25	74,90	66,50	83,11	85,61
	2,0	73,45	75,40	70,40	85,10	87,61
	3,0	78,96	75,40	72,00	86,50	88,60
	4,0	79,57	7,40	73,24	86,8	88,20
	5,0	80,61	75,40	73,24	87,24	89,57
	24,0	83,19	81,20	75,36	90,00	90,64
	рН среды		8,67	7,42	7,53	7,52
2	0,5	50,20	67,40	64,52	74,60	71,84
	1,0	57,86	8,30	71,31	78,50	73,51
	2,0	58,62	79,10	71,31	82,30	75,86
	3,0	58,62	79,10	71,32	83,60	82,50
	4,0	58,62	80,40	77,59	86,90	87,34
	5,0	58,62	82,36	77,91	88,40	89,20
	24,0	62,53	85,42	93,00	94,60	93,60
	рН среды		7,21	7,30	7,15	7,30
3	0,5	50,20	44,01	54,10	58,91	58,30
	1,0	94,46	50,28	56,50	61,30	61,82
	2,0	92,23	51,67	60,10	63,40	65,23
	3,0	95,68	53,10	62,40	63,40	70,10
	4,0	96,99	54,30	62,40	70,00	75,50
	5,0	96,99	54,30	62,40	77,80	77,40
	24,0	97,00	56,54	78,60	84,60	85,20
	рН среды		7,53	7,75	7,59	7,61

Из данных таблицы 9 следует, что в пробах 1 и 3 после применения ССАЖКК произошла очистка воды от примесей Zn, Cu, As, Pb, превышавших ПДК. Следует отметить, что для предотвращения накопления ионов железа и алюминия в очищаемых водах необходима корректировка оптимума дозы коагулянта.

Таким образом, ССАЖКК обладает коагулирующими способностями, работает при осветлении сточных вод, значительно ускоряя процесс осветления и не уступая по качеству очистки товарным коагулянтам (сульфату алюминия, хлорному железу).

Коагулянт обладает способностью умягчать воду, снижать карбонатную жесткость, натрий-калиевое засоление. Одновременно прослеживается способность реагента к химической очистке воды от тяжелых и вредных элементов. Следует продолжить работы по исследованию адсорбционных свойств коагулянта с учетом влияния pH среды на процесс очистки сточных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мусина У.Ш., Нуркеев С.С., Курбанова Л.С. Исследование процесса получения коагулянта-флокулянта выщелачиванием бокситов серной кислотой с использованием метода планирования многофакторного эксперимента. // Вестник КазНТУ. – Алматы, 2007. – С. 24-27.

Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, г. Алматы

ЖАҢА БЕЙОРГАНИКАЛЫҚ КОАГУЛЯНТТЫҢ КОАГУЛЯЦИАЛАУ ҚАСИЕТІН ОҚЫП ҮЙРЕНУ

Техн. ғылымд. канд.	Ү.Ш. Мусина
Техн. ғылымд. докторы	С.С. Нуркеев
	Л.С. Құрбанова
	Г.Б. Жаркимбаева
	Г.Р. Ахмедова

Жаңа коагулянтпен – краснооктябрь бокситінен алынған аралас алюмо-темірлі-кремний коагулянтымен ақаба суды тазалауда жүргізілген зерттеулер нәтижесі келтірілген. Өндірістік және шаруашылық-тұрмыстық ақаба сулардың тазалану кинетикасын және коагуляциаланатын қасиетін зерттеу үшін коагулянттың оңтайлы мөлшерін, ақаба судағы жүзгін заттардың дисперсиялық құрамын анықтау.