

# Сравнение ЭФФЕКТИВНОСТИ алюмосодержащих коагулянтов для ОЧИСТКИ ВОДЫ от взвешенных и растворенных **ЗАГРЯЗНЕНИЙ**

Часть 1: коагуляционная очистка мутных малоцветных вод

**Изучена эффективность применения алюмосодержащих коагулянтов разных марок для очистки почвосодержащей воды. Показано, что для очистки воды эффективны средне- и высокоосновные оксихлориды алюминия. Установлен линейный характер зависимости дозы коагулянта от содержания взвешенных веществ в исходной воде.**

## Введение

**Ш**ирокий ассортимент предлагаемых различными фирмами неорганических коагулянтов, часто имеющих одну и ту же химическую основу, определяет необходимость выбора эффективного реагента. Обычно основным показателем для выбора коагулянта является цена товарного продукта. Однако немаловажное значение имеют такие показатели, как концентрация основного вещества в коагулянте, химические и коагулирующие свойства реагента, необходимость применения дополнительных реагентов для интенсификации процесса, условия растворения, дозирования, состав и концентрация удаляемых примесей и т.д.

В этой связи представляет интерес сравнение коагулирующих свойств ряда широко рекламируемых отечественных алюмосодержащих коагулянтов для очистки воды от таких широко распространенных загрязнений, как взвешенные минеральные и органические вещества, растворенные органические анионные вещества (гумусовые кислоты, красители и др.).

В данной работе проведено сравнение эффективности применения различных коагулянтов для очистки почвосодержащих модельных вод, имитатов сточных вод, которые могут образовываться при мойке сахарной свеклы, картофеля и др. овощей на предприятиях по их переработке [1], а также

**Л.В. Гандурина\***,  
доктор технических наук, старший научный сотрудник  
ОАО «НИИ ВОДГЕО»

**Т.А. Будыкина**,  
доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры «Охрана труда и окружающей среды»  
«Юго-западного государственного университета»  
(г. Курск)



природных вод. В процессе исследований было изучено влияние на степень очистки воды вида и дозы коагулянта, содержания взвешенных веществ в исходной воде.

## Материалы и методы исследования

**В** работе были использованы известные стандартные методики исследований и анализа [2, 3], позволяющие получить достоверные и воспроизводимые результаты и легко их реализовывать на очистных сооружениях коагуляционной очистки воды.

Были использованы неорганические алюмосодержащие коагулянты с разным химическим составом и содержанием основного вещества: сернокислый алюминий (СА), полиоксихлориды алюминия (ПОХА) марки АКВА-АУРАТ<sub>гм</sub> 18, 30, оксихлориды алюминия производства фирмы «Сибресурс»,

\* Адрес для корреспонденции: [gand2@yandex.ru](mailto:gand2@yandex.ru)

титановый коагулянт. Характеристики исследованных видов коагулянтов представлены в *табл. 1*.

Для сравнения и интенсификации очистки воды коагулянтами применяли катионный флокулянт Зетаг 8186 [4].

Все коагулянты хорошо растворяются или разводятся в воде, за исключением титанового коагулянта, который в воде полностью не растворяется и представляет собой суспензию белого цвета с кислой реакцией среды. Величина pH раствора титанового коагулянта с концентрацией 5 % по товарному продукту составляет 3,01. В работе применялись 0,1-1,0 % растворы коагулянтов по оксиду алюминия. Титановый коагулянт применялся в виде 0,1-5 % суспензии по товарному продукту.

Дозы коагулянта варьировались в интервале, охватывающем предполагаемую оптимальную дозу, при которой достигалась минимальная остаточная мутность очищенной воды. Дозы реагентов выражались в мг/л по активной части (оксиду алюминия). Доза титанового коагулянта выражались в мг/л по товарному продукту.

Коагуляцию воды проводили в стаканах объемом 0,5 л на лабораторной установке пробного коагулирования «Капля», позволяющей варьировать режим перемешивания в

**Ключевые слова:**

очистка воды,  
коагулянты,  
взвешенные вещества

интервале от 10 до 200 об/мин. Эксперименты по очистке воды коагулянтами проводили по схеме: смешение, хлопьеобразование, отстаивание. Смешение осуществляли в течение 1 мин при скорости 150 об/мин, хлопьеобразование – в течение 5 мин при скорости 50 об/мин, отстаивание – в течение 5-10 мин., что обеспечивало гидравлическую крупность выделяемых скоагулированных загрязнений не менее 0,1 мм/с.

Модельные воды готовились на водопроводной воде, имеющей pH 7,0-7,2, щелочность 2,9-3,1 мг-экв/л, с добавлением требуемых количеств почвы Курской области. Высокомутную почвосодержащую воду с содержанием взвешенных веществ около 10 г/л готовили диспергированием 300 г почвы в 1,5 л водопроводной воды и отстаиванием в течение 0,5 ч. В отстоянной воде содержание взвешенных веществ составляло примерно 10 г/л. Почвосодержащую воду с концентрацией 900 мг/л и менее готовили разбавлением воды с концентрацией 10 г/л в 10 и более раз. Полученные почвосодержащие воды представляли собой кинетически устойчивые суспензии с гидравлической крупностью взвеси менее 0,017 мм/с.

Из реальных почвосодержащих вод коагуляционной очистке подвергались озерная и речная вода с низкой цветностью и мутнос-

**Таблица 1**

Характеристики исследованных коагулянтов

Наименование	Внешний вид, формула	Концентрация, % по Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al/Cl	Плотность, ρ, кг/м <sup>3</sup>	pH	Fe, %
<b>Коагулянты ЗАО «СИБРЕСУРС» ТУ 2152-001-59254368-2002</b>						
Оксихлорид алюминия низкоосновный	Жидкость мутная, серого цвета Al <sub>2</sub> (OH) <sub>n</sub> Cl <sub>6-n</sub> , где n=4-5	20,73	1,21	1,353	2,83	0,32
Оксихлорид алюминия среднеосновный		20,55	1,55	1,324	3,38	0,28
Оксихлорид алюминия высокоосновный		20,8	1,73	1,312	3,68	3,68
Оксихлорид алюминия «ЛЮКС»	Прозрачная бесцветная жидкость Al <sub>2</sub> (OH) <sub>5</sub> Cl,	Нет данных	Нет данных	1,03-1,1	4-5	Нет данных
<b>Коагулянты ОАО «АУРАТ» (ТУ 6-09-05-1546-96)</b>						
АКВА-АУРАТФ	Прозрачная желтоватая жидкость	17,0 ±		1,36 ±	1,0 ±	-
АКВА-АУРАТФ	Желтый порошок	30,0 ±		-	-	-
<b>Коагулянт титановый ОАО «Ярегская нефтетитановая компания» (ЗАО СИТТЕК)</b>						
Коагулянт титановый* ТУ262212-001-45527070-2006	Слегка желтоватый белый порошок	85% (по Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) + 10% (по TiO <sub>2</sub> ) + 3% нераств. осадок	-	-	-	0,006 (по оксиду)

\*Коагулянт титановый является композицией на основе соединений титана, состоящий из оксидов, гидроксидов, сульфатов и оксигидросульфатов титана и алюминия (КТ-1). Выпускается также в виде пасты (КТ-2)



**Таблица 2**

Характеристики исследованных модельных и реальных природных вод

Вид воды	Основной загрязнитель и его содержание, мг/л	Мутность (взв. вещества), мг/л	Цветность, град	рН (щелочность, мг-экв/л)	Внешний вид
Почвосодержащая модельная вода	Почва Курской области	(100-10000)	–	7,05-7,2 (2,9-3,1)	Мутная серая
Природная озерная вода (озеро Красное, Курская область)	Минеральная взвесь	160	72	6,97 (5,7)	Мутная, серая
Природная речная вода (река Кур)	Минеральная взвесь	36	29,7	7,3 (4,9)	Мало-мутная, светло-серая

тью. Исследуемые модельные и природные воды имели характеристики, представленные в *табл. 2*.

Природные воды р. Кур и озера Красное (г. Железногорск, Курская обл., с. Макарово) содержат минеральную взвесь и относятся к малоцветным водам. Определяемая цветность фильтрованных проб через фильтр «синяя лента» (*табл. 2*), очевидно, является завышенной, поскольку в воде содержится высокодисперсная взвесь, которая не задерживается фильтром при определении цветности. Визуально фильтрованные пробы бесцветны и опалесцируют в проходящем свете.

**Результаты и их обсуждение**

**Р**езультаты очистки почвосодержащих мутных вод с концентрацией взвешенных веществ почвы 900 мг/л в зависимости от вида коагулянта и дозы представлены на *рис. 1-3*.

Как следует из *рис. 1* и *2*, минимальная мутность очищенной воды менее 20 мг/л достигается при использовании сильноосновных оксихлоридов алюминия марок «ЛЮКС» и «ОХА высокоосновный (ОХА-В)» ОАО «Сибресурс», а также среднеосновного коагулянта Аква-Аурат-30 (АА 30) при дозе 12,5 мг/л. Эффект очистки по мутности составляет 89,3-97,8 %.

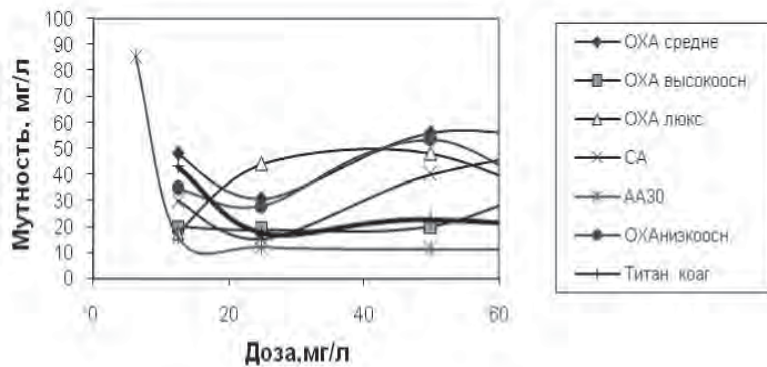
Низко- и среднеосновный оксихлорид алюминия ОАО «Сибресурс» требуется в больших дозах (25 мг/л), чем высокоосновный. При этом мутность очищенной воды возрастает и составляет 27-30 мг/л.

Сульфат алюминия при той же оптимальной дозе в 25 мг/л, что и низко- и среднеосновный оксихлорид алюминия, снижают мутность до более низкой величины – 15-17,4 мг/л.

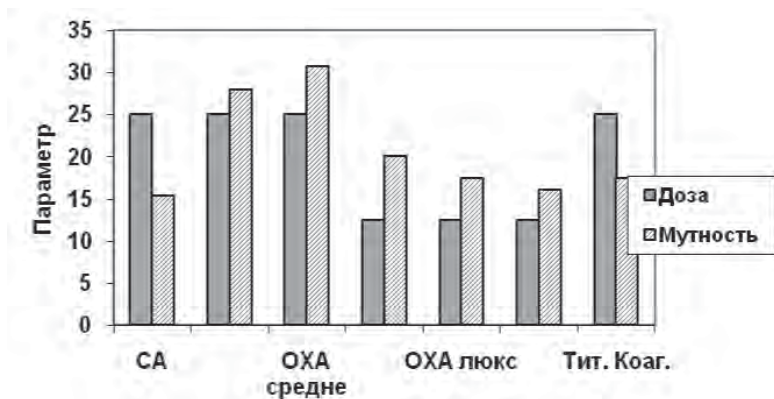
Титановый коагулянт в дозе 25 мг/л по товарному продукту обеспечивает такое же

снижение мутности (17,4 мг/л), что и СА, но расход товарного СА в 6 раз выше.

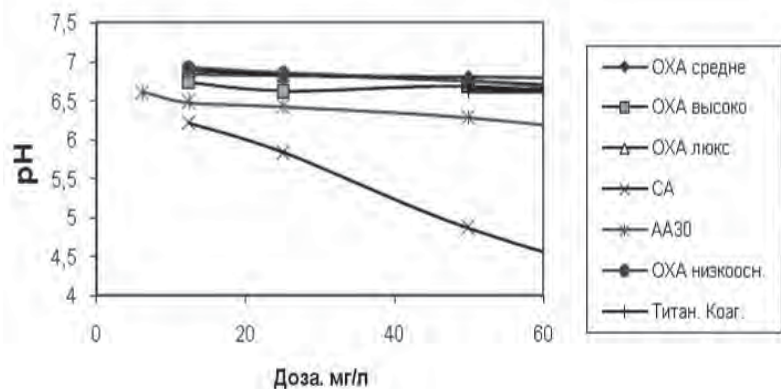
Таким образом, из алюмосодержащих коагулянтов только высокоосновные оксихлориды алюминия марок ОХА-В, «ЛЮКС» и среднеосновный АА 30, а также Титановый коагулянт обеспечивают максимальное снижение мутности почвосодержащей воды при минимальной дозе коагулянта по оксиду алюминия. При этом наименьшее снижение рН очищенной воды наблюдается при использовании ОХА-В, «ЛЮКС» и Титанового коагулянта (*рис. 3*).



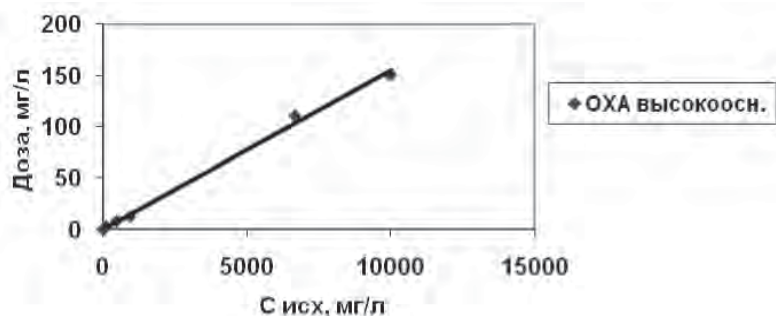
**Рис. 1.** Зависимость мутности почвосодержащей отсеянной суспензии от дозы коагулянта. М исх = 900 мг/л.



**Рис. 2.** Зависимость мутности отсеянной почвосодержащей суспензии и дозы коагулянта от его вида. С исх = 900 мг/л.



**Рис. 3.** Зависимость величины рН почвосодержащей отстоянной суспензии от дозы коагулянта. М исх = 900 мг/л.

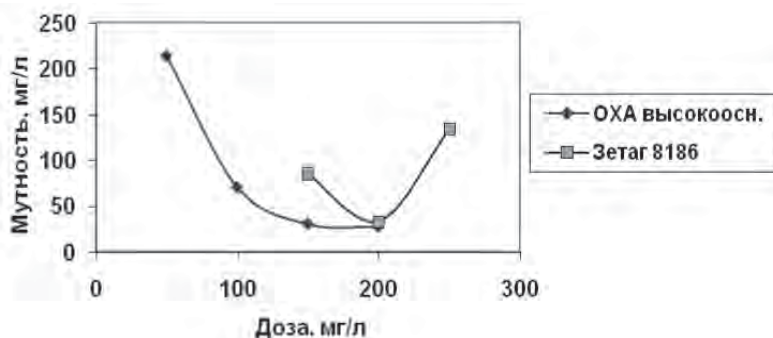


**Рис. 4.** Зависимость дозы коагулянта для очистки почвосодержащей суспензии от ее исходной концентрации.

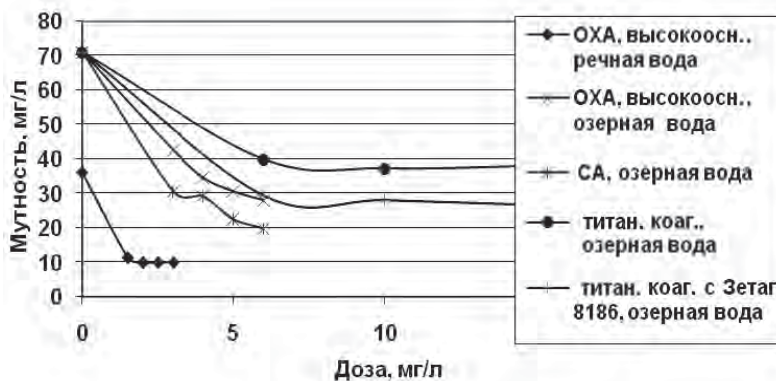
По объему образующегося осадка оксихлориды алюминия мало отличаются друг от друга. При их применении образуется более рыхлый, аморфный и объемный осадок, чем при использовании титанового коагулянта, что, очевидно, обусловлено влиянием нерастворимых оксидов, присутствующих в Титановом коагулянте.

Результаты исследования влияния содержания взвешенных веществ в исходной почвосодержащей воде, представленные на рис. 4, показали, что с увеличением мутности исходной воды доза коагулянта возрастает линейно в интервале концентраций от 100 мг/л до 10 г/л.

Для очистки высококонцентрированной модельной воды с концентрацией почвы 10 г/л для сравнения с коагулянтами был использован катионный флокулянт Зетаг 8186, поскольку известно, что катионные флокулянты применяются для очистки концентрированных суспензий и осадков [4]. Результаты (рис. 5) показали, что для получения очищенной воды с концентрацией взвешенных веществ 28-33 мг/л доза флокулянта составила 200 мг/л, в то время как доза ОХА-В составила 150 мг/л по оксиду алюминия или в пересчете на товарный продукт 720 мг/л.



**Рис. 5.** Зависимость мутности отстоянной почвосодержащей воды от дозы реагента при исходной концентрации взвеси 10 г/л.



**Рис. 6.** Зависимость мутности воды реки Кур и озера Коасное после коагуляции и отстаивания (10 мин) от дозы коагулянтов. Доза Зетаг 8186 – 1,25 мг/л.

При этом образуется четко выраженная граница – осветленная вода-осадок, по скорости снижения которой было определена гидравлическая крупность образующихся хлопьев, которая составила при применении Зетаг 8186 0,83 мм/с, что в 5 раз выше, чем при использовании коагулянта ОХА-В.

Для коагуляции взвешенных веществ природных вод р. Кур и озера Красное (г. Железногорск, Курская обл., с. Макарово) использовали коагулянты, показавшие высокую коагулирующую активность при очистке почвосодержащей модельной воды. К ним относятся ОХА-В и Титановый коагулянт. Для сравнения применяли СА. Результаты представлены на рис. 6.

Как следует из представленных данных, максимальное снижение мутности воды р. Кур до 10 мг/л достигается при дозе ОХА-В, равной 2-3 мг/л. При дозе 3 мг/л ОХА-В, СА и Титанового коагулянта остаточная мутность очищенной воды практически одинакова. Для коагуляции взвешенных веществ высоко мутной озерной воды требуются более высокие дозы коагулянтов (6 мг/л), чем при очистке речной воды. По эффективности снижения мутности в озерной воде в порядке возрастания коагулянта располагаются в ряд: Титановый коагулянт < ОХА-В < СА.

Однако остаточная мутность очищенной воды выше, чем при очистке речной воды. Так, при применении СА мутность озерной воды снижается до 20 мг/л, в то время как при коагуляционной очистки речной воды – до 10 мг/л. Применение катионного флокулянта Зетаг 8186 при дозе 1,25 мг/л совместно с титановым коагулянтом сопровождается дополнительным снижением мутности. Большая эффективность СА по сравнению с ОХА-В, очевидно, является результатом высокой щелочности исходной озерной воды, оптимальные условия коагуляции которой создаются при применении более кислого коагулянта – СА.



этом дозы оксихлоридов и сульфатов алюминия в пересчете на товарный продукт, как правило, выше доз Титанового коагулянта при одинаковом эффекте очистки.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых – докторов наук (МД-563.2010.8).*

## Заключение

**Д**ля очистки модельных и реальных вод от минеральных взвешенных веществ более высокой коагулирующей активностью обладают высокоосновные и среднеосновные оксихлориды алюминия в более широком интервале доз, чем другие коагулянты. Доза коагулянта линейно возрастает с увеличением содержания взвеси в исходной воде.

Катионные флокулянты ускоряют процесс осветления воды отстаиванием.

Титановый коагулянт сравним по эффективности извлечения загрязнений с оксихлоридами и сульфатом алюминия при очистке мутных вод от взвешенных веществ. При

## Литература

1. Панченко Л.И. Применение гидроксосолей алюминия для очистки транспортно-моечных вод сахарных заводов / Л.И. Панченко, И.М. Соломенцева, Н.Г. Герасименко, А.К. Запольский, В.С. Самойленко, Ю.В. Раскин, А.И. Сорокин // Химия и технология воды. 1988. Т. 10. № 4. С. 350 -353.
2. ГОСТ 3351-84. Вода Питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности.
3. Гетманцев С.В. Очистка производственных сточных вод коагулянтами и флокулянтами / С.В. Гетманцев, И.А. Нечаев, Л.В. Гандурина // М.: АСВ, 2008. 272 с.
4. Аксенов В.И.. Водное хозяйство промышленных предприятий / Аксенов В.И., Гандурина Л.В., Керин А.С. и др. // Флокулянты: Справочное издание: Книга 6. Под редакцией Аксенова В.И. – М.: Теплотехник, 2010. 256 с.



L.V. Gandurina, T.A. Budykina

## ALUMINIUM COAGULANTS AS AGENTS FOR WATER PURIFICATION FROM SUSPENDED AND DISSOLVED SUBSTANCES. Part 1. COAGULATION PURIFICATION OF MUDDY WATERS

**A**pplication of aluminium coagulants of different types for soil containing water purification has been examined. Middle- and high-basic aluminium oxychlorides

appeared to be effective for water purification. Correlation between coagulant dose and amount of suspended substances was shown to have linear character.

**Key words:** water purification, coagulants, suspended substances