

Объединение независимых экспертов в области минеральных ресурсов,  
металлургии и химической промышленности



# Обзор рынка сульфата алюминия в России и ЕАЭС

4 издание

Москва  
ноябрь, 2024

## Демонстрационная версия

С условиями приобретения полной версии отчета можно ознакомиться на странице сайта по адресу: <https://infomine.ru/research/15/303>

Общее количество страниц: 109 стр.  
Стоимость отчета – 72 000 рублей

Стоимость отчета различных комплектаций поставки:

- 1. Базовая** - файл формата PDF - 72 тыс.рублей
- 2. Расширенная** - файлы формата PDF + Word - 78 тыс.рублей
- 3. Пользовательская** - файлы формата PDF + Word + Excel - 84 тыс.рублей
- 4. Представительская** - файлы формата PDF + Word + Excel + 2 экз. печатной версии подписанных, прошитых, с подписью генерального директора и скрепленных печатью компании - 89 тыс.рублей
- 5. Максимальная** - файлы формата PDF + Word + Excel + 2 экз. печатной версии подписанных, прошитых, с подписью генерального директора и скрепленных печатью компании + презентация, изготовленная на основании данных отчета в .ppt - 109 тыс.рублей

Этот отчет был подготовлен экспертами ООО «ИГ «Инфомайн» исключительно в целях информации. Содержащаяся в настоящем отчете информация была получена из источников, которые, по мнению экспертов Инфомайн, являются надежными, однако Инфомайн не гарантирует точности и полноты информации для любых целей. Инфомайн приложил все возможные усилия, чтобы проверить достоверность имеющихся сведений, показателей и информации, содержащихся в исследовании, однако клиенту следует учитывать наличие неустраняемых сложностей в процессе получения информации, зачастую касающейся непрозрачных и закрытых коммерческих операций на рынке. Исследование может содержать данные и информацию, которые основаны на различных предположениях, некоторые из которых могут быть неточными или неполными в силу наличия изменяющихся и неопределенных событий и факторов. Кроме того, в ряде случаев из-за погрешности при округлении, различий в определениях, терминах и их толкованиях, а также использования большого числа источников, данные могут показаться противоречивыми. Инфомайн предпринял все меры для того, чтобы не допустить очевидных несоответствий, но некоторые из них могут сохраняться.

Информация, представленная в этом отчете, не должна быть истолкована, прямо или косвенно, как информация, содержащая рекомендации по инвестициям. Все мнения и оценки, содержащиеся в настоящем материале, отражают мнение авторов на день публикации и подлежат изменению без предупреждения. Инфомайн не проводит какую-либо последующую работу по обновлению, дополнению и изменению содержания исследования и проверке точности данных, содержащихся в нем. Инфомайн не несет ответственность за какие-либо убытки или ущерб, возникшие в результате использования любой третьей стороной информации, содержащейся в настоящем отчете, включая опубликованные мнения или заключения, а также последствия, вызванные неполнотой представленной информации.

Этот документ или любая его часть не может распространяться без письменного разрешения Инфомайн либо тиражироваться любыми способами. Заказчик имеет право проводить аудит (экспертизу) исследований рынков, полученных от Исполнителя только в компаниях, имеющих членство ассоциации промышленных маркетологов ПРОММАР (<http://www.prommar.ru>) или силами экспертно-сертификационного совета ассоциации ПРОММАР. В других случаях отправка исследований на аудит или экспертизу третьим лицам считается нарушением авторских прав.

Copyright © ООО «ИГ «Инфомайн».

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Аннотация</b> .....	<b>8</b>
<b>Введение</b> .....	<b>10</b>
<b>I. Технология производства сульфата алюминия</b> .....	<b>12</b>
I.1. Способы производства сульфата алюминия .....	12
<i>Производство неочищенного сульфата алюминия из глин и каолина</i> .....	12
<i>Производство нефелинового коагулянта</i> .....	13
<i>Получение коагулянта из глин и каолина методом спекания</i> .....	15
<i>Другие методы получения коагулянта и сернокислого алюминия</i> .....	16
<i>Получение очищенного сульфата алюминия из гидроксида алюминия или оксида алюминия (глинозема)</i> .....	18
I.2. Сырье для производства сульфата алюминия в СНГ .....	20
<i>Нефелины</i> .....	20
<i>Бокситы</i> .....	22
<i>Каолин</i> .....	22
<i>Глинозем</i> .....	24
<i>Гидроксид алюминия</i> .....	26
<i>Серная кислота</i> .....	26
I.3. Направления и объемы поставок сырья.....	29
<b>II. Производство сульфата алюминия в РФ и странах ЕАЭС</b> .....	<b>32</b>
II.1. Качество выпускаемой продукции .....	32
II.2. Объемы производства сульфата алюминия в РФ и странах ЕАЭС в 2002-2024 гг. ....	34
II.3. Основные предприятия-производители сульфата алюминия в РФ и ЕАЭС .....	36
II.4. Текущее состояние крупнейших производителей сульфата алюминия в России .....	40
<i>II.4.1. ООО «Алхим» (г. Тольятти, Самарская обл.)</i> .....	40
<i>II.4.2. ОАО «Аурат» (г. Москва)</i> .....	43
<i>II.4.3. ООО «Синтез» (Кострома)</i> .....	48
<b>III. Экспорт-импорт сульфата алюминия</b> .....	<b>51</b>
III.1. Экспорт-импорт сульфата алюминия в России в 2002-2024 гг. ....	51
<i>III.1.1. Объем экспорта-импорта сульфата алюминия в России</i> .....	51
<i>III.1.2. Тенденции и особенности экспорта сульфата алюминия в РФ</i> .....	53
<i>III.1.3. Тенденции и особенности импорта сульфата алюминия в РФ</i> .....	57
III.2. Экспорт-импорт сульфата алюминия в Белоруссии в 2002-2023 гг. ....	63
III.3. Экспорт-импорт сульфата алюминия в Казахстане в 2004-2024 гг. ....	66
<b>IV. Обзор цен на сульфат алюминия в 2002-2024 гг.</b> .....	<b>68</b>
IV.1. Текущие внутренние цены в России .....	68
IV.2. Динамика экспортно-импортных цен на сульфат алюминия в РФ.....	73
IV.3. Экспортно-импортные цены на сульфат алюминия в Казахстане.....	76
IV.4. Экспортные цены на сульфат алюминия в Белоруссии.....	78

<b>V. Потребление сульфата алюминия в России и странах ЕАЭС</b> .....	<b>80</b>
V.1. Баланс потребления сульфата алюминия в России в 2002-2024 гг.....	80
V.2. Баланс потребления сульфата алюминия в Казахстане в 2009-2024 .....	82
V.3. Структура потребления сульфата алюминия в России в 2023 г.....	83
V.4. Основные отрасли-потребители сульфата алюминия в России .....	86
V.4.1. Водоснабжение .....	86
V.4.2. Очистка сточных вод.....	89
V.4.3. Целлюлозно-бумажная промышленность .....	94
V.4.4. Водоподготовка на предприятиях энергетики.....	98
V.5. Основные предприятия-потребители сульфата алюминия в РФ .....	100
V.5.1. АО «Мосводоканал» (Москва) .....	101
V.5.2. ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга».....	103
<b>VI. Прогноз развития российского рынка сульфата алюминия до 2030 г.</b>	<b>105</b>
<b>Приложение 1: Контактная информация предприятий-производителей сульфата алюминия</b> .....	<b>108</b>
<b>Приложение 2: Контактная информация предприятий-потребителей сульфата алюминия</b> .....	<b>109</b>

## СПИСОК ТАБЛИЦ

- Таблица 1: Состав нефелинового концентрата, %
- Таблица 2: Добыча нефелиновой руды (1) и производство нефелинового концентрата (2) в РФ в 2000-2023 гг., млн т
- Таблица 3: Технические характеристики каолина марок ПЛК ООО «ГДК «Минерал»
- Таблица 4: Производство глинозема в России по предприятиям в 2002-2023 гг., тыс. т
- Таблица 5: Производство серной кислоты в странах СНГ в 1994-2023 гг., тыс. т
- Таблица 6: Основные производители серной кислоты в РФ в 2012-2023 гг., тыс. т
- Таблица 7: Объемы железнодорожных поставок сырья на предприятия, производящие сульфат алюминия в 2017-2023 гг., т
- Таблица 8: Объемы железнодорожных поставок сырья на предприятия, производящие сульфат алюминия, в 2002-2016 гг., т
- Таблица 9: Технические характеристики неочищенного технического сульфата алюминия (согласно ГОСТ 5155-49)
- Таблица 10: Технические характеристики очищенного технического сульфата алюминия (согласно ГОСТ 12966-85)
- Таблица 11: Производство сульфата алюминия в РФ и странах СНГ в 2002-2024 гг., тыс. т
- Таблица 12: Мощности российских производителей сульфата алюминия по состоянию на 2024 г., тыс. т/год
- Таблица 13: Производство сульфата алюминия в РФ и ЕАЭС по предприятиям в 2017-2024 гг., тыс. т
- Таблица 14: Производство сульфата алюминия в РФ и ЕАЭС по предприятиям в 2002-2016 гг., тыс. т
- Таблица 15: Поставки сырья в ООО «Алхим» в 2017-2023 гг., т
- Таблица 16: Железнодорожные поставки сырья для производства сульфата алюминия ОАО «Аурат» в 2004-2023 гг., т
- Таблица 17: Железнодорожные поставки сырья в адрес ООО «Синтез» в 2004-2023 гг., т
- Таблица 18: Внешняя торговля сульфатом алюминия в РФ в 2002-2024 гг. т
- Таблица 19: Направления российских экспортных поставок сульфата алюминия в 2002-2024 гг., т
- Таблица 20: Экспортные поставки российских производителей сульфата алюминия в 2002-2023 гг., т
- Таблица 21: Направления импортных поставок сульфата алюминия в РФ в 2002-2024 гг., т
- Таблица 22: Крупнейшие экспортеры сульфата алюминия в РФ и объемы их поставок в 2002-2023 гг., т
- Таблица 23: Основные российские получатели импортного сульфата алюминия в 2010-2023 гг., т

Таблица 24: Внешняя торговля сульфатом алюминия в Белоруссии в 2002-2023 гг., т

Таблица 25: Направления белорусского экспорта сульфата алюминия в 2002-2023 гг., т

Таблица 26: Внешняя торговля сульфатом алюминия в Казахстане в 2004-2024 гг., т

Таблица 27: Направления казахстанского экспорта сульфата алюминия в 2005-2009 гг., т

Таблица 28: Страны-поставщики сульфата алюминия в Казахстан в 2005-2024 гг., т

Таблица 29: Договорные цены на сульфат алюминия различного качества и объема поставок

Таблица 30: Экспортные цены российских поставщиков сульфата алюминия в 2002-2023 гг., \$/т

Таблица 31: Цены зарубежных производителей сульфата алюминия при поставках в РФ в 2002-2023 гг., \$/т

Таблица 32: Импортные цены стран-поставщиков сульфата алюминия в Казахстан в 2006-2023 гг., \$/т

Таблица 33: Экспортные цены на сульфат алюминия производства ОАО «Алюминий Казахстана» для стран-потребителей в 2005-2009 гг., \$/т

Таблица 34: Экспортные цены на белорусский сульфат алюминия для основных стран-потребителей в 2002-2023 гг., \$/т

Таблица 35: Баланс потребления сульфата алюминия в России в 2002-2024 гг., тыс. т, %

Таблица 36: Основные российские потребители коагулянтов в 2023 г., т

## СПИСОК РИСУНКОВ

- Рисунок 1: Динамика производства глинозема в РФ и Казахстане в 2002-2023 гг., тыс. т
- Рисунок 2: Динамика производства сульфата алюминия в СНГ в 2002-2024 гг., тыс. т
- Рисунок 3: Динамика производства сульфата алюминия ООО «Алхим» в 2002-2023 гг., тыс. т
- Рисунок 4: Доля экспортных поставок в производстве сульфата алюминия в ООО «Алхим» в 2004-2023 гг., %
- Рисунок 5: Динамика производства сульфата алюминия ОАО «Аурат» в 2002-2023 гг., тыс. т
- Рисунок 6: Динамика производства сульфата алюминия в ООО «Синтез» в 2002-2023 гг., тыс. т
- Рисунок 7: Динамика экспортно-импортных поставок сульфата алюминия в РФ в 2002-2024 гг., тыс. т
- Рисунок 8: Динамика экспортно-импортных поставок сульфата алюминия в Белоруссии в 2002-2023 гг., т
- Рисунок 9: Динамика экспортно-импортных цен на сульфат алюминия в РФ в 2002-2023 гг., \$/т
- Рисунок 10: Динамика среднеэкспортных цен на сульфат алюминия в Белоруссии в 2002-2023 гг., \$/т
- Рисунок 11: Сравнительная динамика производства, «видимого» потребления и импорта сульфата алюминия в РФ в 2002-2024 гг., тыс. т
- Рисунок 12: Динамика импортных поставок сульфата алюминия в Казахстан в 2009-2024 гг., т
- Рисунок 13: Структура потребления сульфата алюминия в РФ по областям применения в 2023 гг., %
- Рисунок 14: Отраслевая структура потребления сульфата алюминия в РФ в 2023 г., %
- Рисунок 22: Технологическая схема обработки городских сточных вод
- Рисунок 16: Динамика производства картона и бумаги в России в 2000-2023 гг., млн т
- Рисунок 17: Сравнительная динамика производства и потребления сульфата алюминия в РФ в 2012-2024 гг., тыс. т
- Рисунок 18: Прогноз производства и потребления сульфата алюминия в РФ на период до 2030 г., тыс. т

## Аннотация

Настоящий отчет является **четвертым изданием** исследования рынка сульфата алюминия в России и странах ЕАЭС.

Мониторинг рынка ведется с **сентября 2008 года**.

**Цель исследования** – анализ рынка сульфата алюминия – российского и стран ЕАЭС.

**Объектом исследования** является сульфат алюминия

Данная работа является **кабинетным исследованием**. В качестве **источников информации** использовались данные статистических комитетов стран ЕАЭС (в том числе Росстата, Национального статистического комитета Республики Беларусь, Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан); международные базы данных ООН (UNdata), World Bank, Eurostat; данные международной и европейской торговли (UN Comtrade, Trade Map); Федеральной таможенной службы РФ (до 2022 г.); Единой информационной системы в сфере закупок; статистики железнодорожных перевозок; базы СБИС; зарубежных специализированных компаний; годовых и квартальных отчетов эмитентов ценных бумаг; отраслевой и региональной прессы, материалов конференций, интернет-сайтов предприятий-производителей и потребителей исследуемой продукции; научно-технической литературы (elibrary и др.), база патентов ФИПС; база данных «Инфомайн» и т.д.

**Хронологические рамки исследования:** 2002-2023 гг.; оценка – 2024 г.; прогноз – 2025-2030 гг.

**География исследования:** Российская Федерация, Казахстан, Белоруссия – комплексный подробный анализ рынка.

Отчет состоит из **6** частей, содержит **109** страниц, в том числе **18** рисунков, **36** таблицы и **2** приложения.

В **первой главе** отчета приведены способы производства сульфата алюминия, сырье для изготовления данного продукта, направления и объемы поставок сырья.

**Вторая глава** отчета посвящена производству сульфата алюминия в странах ЕАЭС в 2002-2024 гг. В данной главе приведены требования к качеству сульфата алюминия различных марок, данные по объемам производства реагента в странах ЕАЭС, описано текущее состояние основных предприятий-производителей сульфата алюминия.

В **третьей главе** отчета приводятся данные о внешнеторговых операциях с сульфатом алюминия в РФ (за период 2002-2024 гг.), Белоруссии (2002-2023 гг.) и в Казахстане (2004-2024 гг.).

В **четвертой главе** приведены сведения о текущих ценах на сульфат алюминия в ЕАЭС, внутренних договорных ценах в России, также проанализированы данные об изменениях экспортно-импортных цен на продукцию в России, Белоруссии и Казахстане.



В **пятой главе** отчета рассматривается потребление сульфата алюминия в России (2002-2024 гг.) и в Казахстане (2009-2004 гг.). В данном разделе приведен баланс производства-потребления этой продукции, отраслевая структура потребления, основные потребители, а также текущее состояние и перспективы развития крупнейших предприятий-потребителей.

В **шестой главе** отчета приводится прогноз развития российского рынка сульфата алюминия на период до 2030 г.

В **приложениях** приведена адресная и контактная информация основных предприятий, выпускающих и потребляющих сульфат алюминия в странах ЕАЭС.

**Целевая аудитория исследования:**

- участники рынка сульфата алюминия – производители, потребители, трейдеры;

- потенциальные инвесторы.

Предлагаемое исследование претендует на роль **справочного пособия** для служб маркетинга и специалистов, принимающих управленческие решения, работающих на рынке сульфата алюминия.

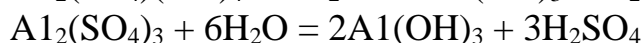
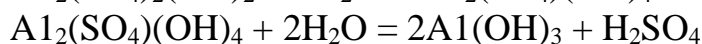
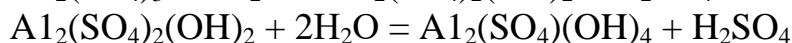
## Введение

Безводный сульфат алюминия  $Al_2(SO_4)_3$  представляет собой белые кристаллы с орторомбической решеткой, плотность –  $2,71 \text{ г/см}^3$ ,  $C_p^0$  –  $259,6 \text{ Дж/(моль*К)}$ ;  $\Delta H^\circ_{обр}$  –  $-3444,1 \text{ кДж/моль}$ ,  $\Delta G^\circ_{обр}$  –  $-3102,9 \text{ кДж/моль}$ ,  $S^\circ_{298}$  –  $239,4 \text{ Дж/моль*К}$ . Выше  $580^\circ\text{C}$  разлагается до  $\gamma\text{-}Al_2O_3$  и  $SO_3$ . Хорошо растворим в воде (растворимость при  $0^\circ\text{C}$  равна  $31,2$ , при  $100^\circ\text{C}$  –  $89 \text{ г}$  в  $100 \text{ г}$  воды), плохо – в спиртах.

Гигроскопичен, известны кристаллогидраты  $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$  ( $n=6, 10, 16, 18$ ). При обычной температуре устойчив  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  – бесцветные кристаллы с моноклинной решеткой;  $T_{пл.}$  –  $86,5^\circ\text{C}$  (с разложением), плотность –  $1,69 \text{ г/см}^3$ . При  $150^\circ\text{C}$  теряет 4 молекулы воды, при  $160^\circ\text{C}$  – 8, при  $250^\circ\text{C}$  – 15, полностью обезвоживается при  $420^\circ\text{C}$ .

Обычно используют частично дегидратированный (из-за выветривания) сульфат алюминия, содержащий 14-14,5 молекул воды.

В результате гидролиза сульфата алюминия из водных растворов вначале выделяются промежуточные основные соли, а затем гидроокись алюминия:



При этом гидролиз  $Al_2(SO_4)_3$  даже при высоких температурах в интервале  $200\text{-}300^\circ\text{C}$  (при повышенном давлении) протекает с малой скоростью и не превышает 50%. Гидроокись алюминия является коагулирующим агентом (веществом, способным вызывать или ускорять коагуляцию). Также при взаимодействии сульфата алюминия с содержащимися в естественных водах бикарбонатами кальция и магния в результате гидролиза образуется осадок гидроокиси алюминия и основных сульфатов, чем обусловлены коагулирующие свойства  $Al_2(SO_4)_3$ .

В процессе коагуляции  $Al(OH)_3$  коллоидные частицы примесей, находящиеся в воде, захватываются и выделяются вместе с гидроксидом алюминия в виде студенистых хлопьев.  $Al(OH)_3$  имеет повышенную чувствительность к рН и температуре обрабатываемой воды. Изоэлектрическая область для гидроксида алюминия, где у него наименьшая растворимость, соответствует рН =  $6,5\text{-}7,5$ . При более низких значениях рН образуются частично растворимые основные соли, при более высоких – алюминаты. При температуре исходной воды ниже  $4^\circ\text{C}$  в результате возрастания гидратации гидроксида алюминия замедляются процессы коагулирования ее примесей и декантации хлопьев (что осложняет практическое использование сульфата алюминия в качестве коагулянта).

Введение в систему коагулянтов широко используют для облегчения процессов, связанных с необходимостью отделения вещества дисперсной фазы от дисперсионной среды (осаждение взвешенных частиц при водоочистке,

обогащение минерального сырья, улучшение фильтрационных характеристик осадков и др.). Под действием коагулянтов дисперсные коллоидные частички объединяются в большие массы, которые затем, после флокуляции, можно удалить такими методами разделения твердой и жидкой фазы, как осаждение, флотация и фильтрация.

В частности, в процессах водоочистки для удаления взвешенных коллоидных частиц, которые могут придавать питьевой воде неприятные вкус, цвет, запах или мутность, в больших объемах применяется сульфат алюминия. Поэтому основными потребителями реагента являются предприятия водоканала. Важно отметить, что в условиях оптимального дозирования очищенная вода не содержит остаточный алюминий. Коагулирующие свойства сульфата алюминия позволяют использовать его также при химводоподготовке на предприятиях ТЭЦ и ГРЭС. Кроме того, сульфат алюминия применяется промышленными предприятиями для очистки сточных вод.

Однако наиболее перспективными коагулянтами, которые имеют ряд существенных преимуществ перед сульфатом алюминия, на сегодняшний день являются оксихлорид и гидроксихлорсульфат алюминия, по международной классификации относящиеся к классу PAC (polyaluminium chloride). Эти коагулянты удачно сочетают в себе простоту использования сульфата алюминия и эффективность действия флокулянтов.

С сульфатами щелочных металлов,  $M^+$  и  $NH_4^+$  сульфат алюминия дает алюминиевые квасцы  $MA_1(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  (наиболее важны алюмокалиевые квасцы), являющиеся комплексными соединениями и используемые в промышленности в качестве протравы при крашении тканей, при проклеивании бумаги, а также для «белого» дубления кож. В медицине алюмокалиевые квасцы применяются для остановки кровотечения при мелких порезах, а «жжёные» (т.е. обезвоженные нагреванием) квасцы применяются в фармацевтической промышленности как средство от потения.

Кроме того, сернокислый алюминий применяется в производстве древесно-волоконистых плит, для консервирования дерева, в промышленности красителей и искусственных волокон. В производстве строительных материалов сульфат алюминия относится к минеральным добавкам класса «регуляторы структуры». Основным видом воздействия данной добавки является уплотнение бетонных и других строительных растворов с целью повышения водонепроницаемости готовых строительных материалов.

Получают сульфат алюминия обработкой алюминийсодержащего сырья серной кислотой при 100-250°C. При этом ассортимент выпускаемой продукции включает очищенный сернокислый алюминий в твердом виде и в растворе, получаемый из  $Al(OH)_3$  или глинозема ( $Al_2O_3$ ), и неочищенный нефелиновый коагулянт из нефелинового концентрата. Кроме того,  $Al_2(SO_4)_3$  получают из бокситов и каолинов, а алюмокалиевые квасцы – из алунитов  $(Na, K)_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 4Al(OH)_3$ .

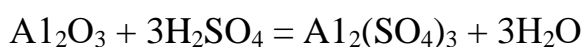
## I. Технология производства сульфата алюминия

Сырье, используемое для производства сульфата алюминия, должно содержать значительное количество глинозема ( $Al_2O_3$ ) и легко разлагаться кислотами. Таким требованиям удовлетворяют нефелиновые породы и каолиновые глины. Эти глины содержат 15-40%  $Al_2O_3$ , 55-75%  $SiO_2$ , 1-2%  $Fe^{3+}$  и 0,5-1%  $Fe^{2+}$ . Обычно используют глины, содержащие после обезвоживания 30-40%  $Al_2O_3$ . Бокситы, хотя и содержат большие количества глинозема, труднее разлагаются кислотами. Трудно разлагаются кислотами и глины, содержащие значительные количества полевошпатовых пород. Для решения вопроса о пригодности того или иного сорта глины обычно производят пробную варку сернокислого алюминия.

### I.1. Способы производства сульфата алюминия

#### Производство неочищенного сульфата алюминия из глин и каолина

Глина – наиболее дешевый и доступный вид природного материала для производства сульфата алюминия. Разложение обожженной глины производят серной кислотой, которая растворяет содержащуюся в глине окись алюминия по реакции:



При этом степень превращения  $Al_2O_3$  глины в сульфат не превышает 70-80%. Получающиеся по этому способу продукты – неочищенный сернокислотный алюминий или коагулянты – после варки затвердевают и не подвергаются дополнительной обработке. Они содержат все примеси исходного сырья. Для получения очищенного сернокислого алюминия производят отделение нерастворимых примесей, что значительно усложняет производственный процесс. Усовершенствованием этого метода явилось разложение каолина избытком серной кислоты для повышения степени извлечения  $Al_2O_3$  и нейтрализация избыточной кислоты нефелином. Успешное применение нефелина в качестве добавки к каолину послужило основанием для производства нефелинового коагулянта из одного нефелина (без каолина).

Производство нефелинового коагулянта

Нефелиновый концентрат подвергают обработке серной кислотой. При этом протекает следующая реакция:



При смешении нефелинового концентрата с башенной серной кислотой без последующего разбавления водой смесь быстро загустевает, так как находящаяся в ней вода связывается с образовавшимися солями в твердые кристаллогидраты. Это сопровождается сильным повышением температуры, вызывающим значительное парообразование, что приводит к резкому увеличению объема смеси, которая превращается в твердую пористую массу, легко рассыпающуюся в порошок. Этот продукт, состоящий из смеси сульфата алюминия, калиевых, натриевых квасцов,  $\text{SiO}_2$  и прочих примесей, находившихся в нефелине и образовавшихся при обработке его серной кислотой, называется нефелиновым коагулянтом. Его правильней было бы назвать неочищенным нефелиновым коагулянтом в отличие от очищенного нефелинового коагулянта, которым является смесь продуктов, полученная кристаллизацией раствора после отделения от него кремнеземистого осадка.

Температура реакции, количество испарившейся воды, выход и свойства коагулянта зависят от концентрации исходной кислоты. В продукте, полученном при разложении нефелина 63-84,5%-ной кислотой, обнаружен бисульфат алюминия. Это объясняется неполной нейтрализацией серной кислоты. Наличие в коагулянте гигроскопичных кислых солей обуславливает поглощение им влаги из воздуха. В результате обводнения продукта происходит дальнейшее разложение непрореагировавшего нефелина. Этот процесс «дозревания» протекает на воздухе медленно, около 12 суток, вследствие покрытия зерен непрореагировавшего нефелина кристаллами коагулянта. При растворении кристаллов в воде процесс дальнейшего разложения ускоряется и завершается в холодной воде в течение часа, а в горячей воде – в течение 5 минут. Таким образом, замедление взаимодействия нефелина с концентрированной серной кислотой объясняется недостатком воды в жидкой фазе. С наибольшей скоростью нефелин разлагается 47-63%-ной серной кислотой.

Получение неочищенного нефелинового коагулянта производится смешением нефелинового концентрата с башенной серной кислотой в котлах с мешалками и выливанием полученной пульпы до ее загустевания в аппараты для «созревания», т.е. затвердевания массы. Твердая масса подвергается измельчению. При смешении нефелина с 92%-ной серной кислотой реакция идет очень медленно, и незагустевшая пульпа может легко перетекать в желоб со шнеком, куда добавляется вода для разбавления кислоты. После этого реакция идет очень быстро, и масса, интенсивно перемешиваемая шнеком и передвигаемая им вдоль аппарата, быстро затвердевает, превращаясь в мелкие зерна.

Процесс смешения ведется в двух аппаратах, соединенных последовательно. В один из смесителей подают непрерывно кислоту и нефелиновый концентрат. Образующаяся пульпа перетекает во второй смеситель, откуда выходит из нижней его части через гидравлический затвор в ковшевой дозатор. В выходящей пульпе должно содержаться от 1,5 до 4% избыточной серной кислоты (в зависимости от качества нефелина). Под избыточной понимают кислоту, содержащуюся в пульпе сверх того количества, которое может прореагировать к концу процесса при гидратации. Из ковшевого дозатора пульпа поступает в шнек реактор, куда добавляют воду из расчета разбавления кислоты до 70-73%  $H_2SO_4$ . Продолжительность пребывания массы в шнеке-реакторе составляет 28-30 сек., и степень разложения нефелина за это время достигает 85-88%. Из реактора сухая рассыпчатая масса с температурой 80-100°C поступает на склад, где происходит «дозревание» и охлаждение продукта в течение 2-4 суток. На производство этим методом 1 т нефелинового коагулянта требуется: 0,32 т нефелиновой муки (до 1% влаги) или 0,105 т  $Al_2O_3$  (100%), 0,378 т серной кислоты (100%).

Технология производства нефелинового коагулянта реализована в ОАО «Апатит», где получаемый реагент используется при сгущении апатитового и нефелинового концентратов.

Промышленный процесс комплексной переработки нефелинов был разработан советскими специалистами и опробован на «Волховском алюминиевом заводе» в 1952 г. Процесс заключается в спекании нефелина с известняком при температуре 1250-1300°C. Полученную массу выщелачивают водным щелочным раствором, раствор алюмината натрия отделяют от шлама, затем освобождают от  $SiO_2$  и разлагают газообразным  $CO_2$ . Полученный осадок  $Al(OH)_3$  отделяют от раствора, а затем используют по назначению: при взаимодействии с серной кислотой получают сульфат алюминия, при прокаливании ( $t \sim 1200^\circ C$ ) – глинозем. При таком способе переработки нефелина помимо глинозема и сульфата алюминия получают кальцинированную соду, поташ и цемент.

Подобная технология получения сульфата алюминия из нефелина применяется в настоящее время на «Ачинском глиноземном комбинате».

Получение коагулянта из глин и каолина методом спекания

Спеканием можно получить сульфат алюминия и из каолинистых глин. При варке неочищенного сернокислого алюминия или коагулянта из сырой глины в ряде случаев получают сравнительно низкие выходы  $Al_2O_3$  и низкое содержание  $Al_2O_3$  в продукте при повышенной его кислотности, что связано с содержанием в глинах полевошпатовых пород. В этом отношении большими преимуществами обладает способ получения коагулянта из сырых глин спеканием с серной кислотой, дающий возможность получать коагулянт с более высоким содержанием  $Al_2O_3$  и лучшим его выходом, не содержащий свободной кислоты.

По этому способу сырую глину смешивают с 75%-ной серной кислотой, взятой в количестве 50-70% от того, которое требуется для связывания в сернокислые соли  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ . Смешение производят в глиномялках или в аппаратах шнекового типа. Затем смесь прокаливают в течение 2-5 ч в подовых или вращающихся печах при 300-500°C. Получается рассыпчатый продукт, содержащий до 15%  $R_2O_3$ . На 1 т такого продукта расходуют: около 1 т низкосортной сырой глины (содержащей 20%  $Al_2O_3$  и 12%  $Fe_2O_3$ ) и 0,48 т серной кислоты (100%-ной).

Помимо того, что метод спекания позволяет получать коагулянт из необожженной низкосортной глины, он имеет и другие преимущества по сравнению с методом варки коагулянта из глины. К ним относятся возможность легкого осуществления процесса непрерывным способом в шнеке или вращающейся печи, получение рассыпчатого продукта и возможность получать продукт с любой свободной кислотностью, вплоть до отсутствия кислотности, что имеет большое значение для ряда потребителей, например для бумажной промышленности. Полученный этим методом из каолина или белых глин неочищенный коагулянт, не содержащий свободной серной кислоты, пригоден для частичной замены в бумажной промышленности более дорогого очищенного сернокислого алюминия.

Спек, изготовленный описанным выше способом, можно подвергнуть выщелачиванию. После фильтрования получается сравнительно чистый раствор сульфата алюминия, содержащий лишь небольшое количество соединений железа и сульфатов щелочных металлов. Вследствие термической диссоциации  $Fe_2(SO_4)_3$  в печи основная масса железа в виде окиси железа переходит в шлам вместе с кремнеземом и отделяется при фильтровании.

Другие методы получения коагулянта и сернокислого алюминия

Сернокислый алюминий или содержащие его коагулянты получают также из других глиноземистых материалов – высококремнистых бокситов, золы от сжигания некоторых углей.

Разложение **боксита** производят в стальном реакторе, футерованном кислотоупорными плитками или покрытом стекловидной эмалью. В реактор вначале загружают 93%-ную серную кислоту, которую разбавляют слабыми растворами от промывки шлама и нагревают до кипения. Боксит вводят в реактор периодически небольшими порциями во избежание обильного вспенивания. Варку осуществляют при  $\sim 135^\circ\text{C}$ . По окончании варки пульпа поступает в отстойники, где раствор отделяется от нерастворимых примесей. Осветленный раствор или выпаривают с получением твердого продукта, или используют непосредственно.

В последнем случае, когда установка для получения раствора сульфата алюминия соединена с системой очистки воды, продолжительность реакции и объем реактора меньше, чем в случае получения раствора при стехиометрическом соотношении реагентов, предназначенного для переработки в твердый продукт. При загрузке в раствор боксита, 93%-ной кислоты и воды приблизительно в весовом соотношении 1:2:1 уже в течение 3-минутного перемешивания массы без внешнего подогрева достигается 92% извлечение  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Коагулянт также может быть получен из **золы** некоторых углей, содержащей много  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . В золе подмосковных углей, например, имеется 25-35%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 8-15%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 43-60%  $\text{SiO}_2$ . Из такой золы получают коагулянт, содержащий 8-10%  $\text{R}_2\text{O}_3$ . Извлечение  $\text{Al}_2\text{O}_3$  из золы, однако, ниже (60-80%), чем из специально обожженной глины, так как при сгорании топлива развиваются значительно более высокие температуры, и часть окиси алюминия в золе связывается в алюмосиликаты и другие соединения, не растворяющиеся в серной кислоте.

Существует способ получения сульфата алюминия при утилизации **травильных растворов**, содержащих до 10%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\sim 25\%$   $\text{FeSO}_4$ . Эти растворы упаривают, продувают воздухом для окисления  $\text{Fe}^{2+}$  в  $\text{Fe}^{3+}$  и обрабатывают ими глиноземсодержащий материал (глину и др.) в автоклаве при  $100-350^\circ\text{C}$  и давлении 200-350 атм. При этом в растворе  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  заменяется на  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , а в шламе остаются  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Профильтрованный раствор подкисляют и обрабатывают сернистым газом для восстановления небольшой примеси  $\text{Fe}^{3+}$  в  $\text{Fe}^{2+}$ , после чего из него кристаллизуют сульфат закиси железа, а оставшийся раствор сульфата алюминия перерабатывают в твердый продукт. Очистка раствора сульфата алюминия от  $\text{FeSO}_4$  достигается при нагревании его выше  $50^\circ\text{C}$  (до температуры кипения). Это приводит к значительному выделению в осадок сульфата закиси железа, что позволяет использовать полученный раствор в качестве коагулянта для сточных вод. Осуществляя вторую стадию