УДК 544.431.24

И. А. Акимова,
факультет естественно-научного образования,
Омский государственный педагогический университет
Научный руководитель: канд. хим. наук, доц. И. В. Скворцова

Влияние сульфат-ионов на кинетику растворения гидроксида алюминия

Аннотация. В работе экспериментально показано, как присутствие сульфат-ионов влияет на скорость растворения гидроксида алюминия в сернокислых средах. Установлено, что введение сульфат-ионов ускоряет процесс растворения, а оптимальный диапазон концентраций составляет 0,2-0,8 М. Получены количественные кинетические параметры, пригодные для технологических расчетов.

Ключевые слова: гидроксид алюминия, сульфат-ионы, кинетика растворения, скорость растворения, фотометрия.

Переход оксидов и гидроксидов металлов в раствор — один из базовых этапов в таких прикладных областях, как химическое сопротивление материалов, гидрометаллургическая переработка руд и утилизация техногенных отходов. Скорость и полнота этого процесса определяются тремя основными механизмами: кислотно-основным взаимодействием, комплексообразованием и окислительно-восстановительными реакциями.

Перспективным направлением считается применение сернокислотных сред, содержащих сульфат-ионы. Присутствие ионов SO_4^{2-} может влиять на скорость растворения $Al(OH)_3$, изменяя состояние поверхности твердой фазы или участвуя в образовании промежуточных комплексов. Однако количественные закономерности такого влияния изучены недостаточно.

Цель исследования — установить, как присутствие сульфат-ионов в сернокислых растворах изменяет кинетические закономерности растворения $Al(OH)_3$, получить количественные параметры, пригодные для практического использования.

Сравнение трех аналитических подходов (атомно-абсорбционного, радиоактивационного, нескольких фотометрических вариантов) показало, что наибольшую чувствительность и воспроизводимость в лабораторных условиях обеспечивает фотометрия с использованием ализарина S [1; 3]. Данные о физико-химических свойствах соединений алюминия также подтверждают целесообразность этого выбора [2].

Определение ионов алюминия в растворах основывается на образовании окрашенного комплекса алюминия (III) с ализарином S. Измерения выполняли на фотоколориметре КФК-3 в кюветах с толщиной поглощающего слоя 10 мм при длине волны 500 нм, соответствующей максимуму светопоглощения комплекса.

Обработка экспериментальных данных проведена в программе Static2 методом наименьших квадратов. По результатам градуировки получено линейное уравнение: $D = 0{,}0005 + 20{,}8995 \cdot C$. Коэффициент корреляции — 0,997, что свидетельствует о высокой степени линейности в изученном диапазоне концентраций.

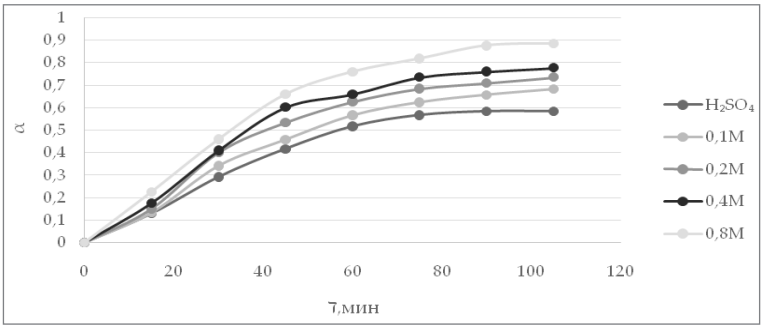
Влияние природы кислоты исследовали в трех средах: серной (H_2SO_4), соляной (HCl) и азотной (HNO_3).

Для исследования влияния сульфат-ионов готовили серию растворов с концентрациями SO_4^{2-}: 0,1; 0,2; 0,4 и 0,8 М. Сульфат-ионы вводили в систему в виде сухой соли Na_2SO_4 квалификации «ЧДА». Все эксперименты проводили при постоянных значениях температуры (55–60 °С), объема жидкой фазы (100 мл) и начальной массы твердого $Al(OH)_3$ (0,1 г). Значение pH контролировали и поддерживали постоянным.

Через определенные промежутки времени отбирали пробы, измеряли их оптическую плотность и по калибровочному графику определяли концентрацию перешедшего в раствор алюминия. Далее рассчитывали долю растворенного гидроксида алюминия в каждый момент времени.

Экспериментальные данные показали, что скорость растворения $Al(OH)_3$ зависит от природы кислоты. Установлено, что наиболее интенсивно процесс протекает в серной кислоте. По убыванию

© Акимова И. А., 2026



Кинетические кривые растворения $Al(OH)_3$ в H_2SO_4 (4М, 60°С, контроль pH) при различных концентрациях сульфат-ионов

скорости растворения кислоты располагаются в следующий ряд: $H_2SO_4 > HNO_3 > HCl$.

Этот результат можно объяснить участием ионов SO_4^{2-} в образовании поверхностных комплексов с алюминием, что облегчает переход ионов металла в раствор. В соляной кислоте, несмотря на высокую протонную активность, растворение идет медленнее, вероятно, из-за пассивации поверхности продуктами реакции. Поскольку максимальная скорость достигнута в серной кислоте, все дальнейшие эксперименты проводили именно в H_2SO_4.

На следующем этапе в раствор серной кислоты (4 М) вводили различные количества Na_2SO_4. Кинетические кривые, отражающие изменение доли растворенного гидроксида алюминия во времени, представлены на рисунке.

Как видно из графика (рис.), увеличение концентрации сульфат-ионов в диапазоне от 0,1 до 0,8 М приводит к заметному ускорению процесса растворения. Наибольший эффект наблюдается при концентрациях 0,4 и 0,8 М, причем различие между ними выражено слабее, чем между 0,1 и 0,4 М. Это позволяет предположить существование оптимального диапазона концентраций, дальнейшее повышение которого не дает пропорционального выигрыша в скорости.

С помощью программы математической обработки Mathcad 15, на основе модели цепного механизма были рассчитаны основные кинетические параметры процесса растворения $Al(OH)_3$ в присутствии ионов SO_4^{2-} (порядок реакций по ионам, константа скорости, удельная скорость растворения). Расчеты подтвердили, что введение SO_4^{2-} изменяет не только скорость, но и формальную кинетику процесса.

На основании проведенных исследований можно сформулировать следующие основные выводы:

1. Среди трех исследованных кислот (H_2SO_4; HNO_3; HCl) максимальная доля перешедшего в раствор алюминия за фиксированное время достигнута в серной кислоте. Ряд убывания скорости: $H_2SO_4 > HNO_3 > HCl$.

2. Присутствие сульфат-ионов в растворе серной кислоты ускоряет растворение гидроксида алюминия. Эффект усиливается с ростом концентрации SO_4^{2-} в диапазоне 0,1–0,8 М.

3. Оптимальным с точки зрения скорости и экономической целесообразности является диапазон концентраций сульфат-ионов 0,2–0,8 М при обязательном контроле pH реакционной среды.

4. Рассчитанные кинетические параметры (порядок реакции, константа скорости, удельная скорость растворения) позволяют количественно описать влияние сульфат-ионов и могут быть рекомендованы для оптимизации технологических режимов переработки алюминийсодержащего сырья.

5. Дополнительными факторами интенсификации процесса служат умеренный нагрев (55–60 °С), усиление перемешивания реакционной смеси и уменьшение размера частиц твердой фазы гидроксида алюминия.

1. *Иванов В. М., Адамова Е. М., Фигуровская В. Н.* Кислотно-основные, спектрофотометрические и цветометрические характеристики 1,2-дигидроксиантрахинон-3-сульфокислоты (ализаринового красного С) // Журнал аналитической химии. — 2010. — Т. 65, № 5. — С. 488–496.

2. *Муртазаев Ф. И., Шобердиев О. А.* Гидроксиды алюминия и основные методы их получения // Universum: технические науки. — 2025. — № 6–5 (135). — С. 59–63.

3. О механизме растворения гидроксидов алюминия в кислых средах / Ю. А. Лайнер, И. Г. Горичев, А. С. Тужилин, Е. Г. Гололобова // Металлы. — 2008. — № 4. — С. 29–37.