

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

RODIONOV Mikhail Vasilyevich – Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: mischa.rodionov.05@mail.ru

SMIRNOV Sergey Konstantinovich – Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: smirn2204@gmail.com

TSVETKOV Dmitry Yuryevich – Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: dm.cwetkow@mail.ru

PETROVA Arina Igorevna – Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: arinapetrova989@gmail.com

LAKINA Natalia Valeryevna – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Biotechnology, Chemistry and Standardization, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: lakina@yandex.ru

DOLUDA Valentin Yuryevich – Doctor of Chemistry, Head of the Department of Polymer Chemistry and Technology, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: doludav@yandex.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Rodionov M.V., Smirnov S.K., Tsvetkov D.Yu., Petrova A.I., Lakina N.V., Doluda V.Yu. Evaluation of the Catalytic Activity of Pt/Al₂O₃ and Pt/SiO₂ in the Oxidation Reaction of L-Sorbose // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2026. No. 1 (29), pp. 86–93.

УДК 549.313.2:542.943-92:532.73-3

**КИНЕТИКА ГИДРОХИМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ АНТИМОНИТА
В РАСТВОРАХ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ**

А.Е. Соболев^{1,2}, Н.Ю. Старовойтова¹, В.Ю. Долуда¹

¹Тверской государственный технический университет (г. Тверь),

²Тверской государственный медицинский университет Минздрава России

© Соболев А.Е., Старовойтова Н.Ю.,
Долуда В.Ю., 2026

Аннотация. Установлены зависимости скорости окисления антимонита от концентрации азотной кислоты, температуры, частоты вращения диска и продолжительности взаимодействия. Получены адекватные кинетические модели, позволяющие рассчитать удельную скорость окисления при любой комбинации значений указанных факторов. Выявлено, что процесс окисления протекает в смешанном режиме, близком к кинетическому. По мере накопления на поверхности диска осадков молекулярной серы и Sb₂O₅ процесс переходит в режим внутренней диффузии. Наблюдаемый высокий порядок скорости окисления по концентрации азотной кислоты объяснен автокаталитическим действием продуктов ее восстановления. Полученные кинетические характеристики

расширяют базу данных по кинетике гидрохимического окисления сульфидов и могут быть использованы для разработки рекомендаций по эффективному комплексному освоению сурьмяных руд и концентратов.

Ключевые слова: антимонит (сульфид сурьмы(III)), азотная кислота, гидрохимическое окисление, кинетика.

DOI: 10.46573/2658-7459-2026-1-93-102

ВВЕДЕНИЕ

Антимонит (сульфид сурьмы(III)) Sb_2S_3 – один из основных промышленных минералов в Sb-содержащих рудах [1], которые при этом зачастую содержат золото, серебро, сульфиды цветных металлов и другие ценные соединения. По экологическим и экономическим соображениям гидрометаллургические технологии переработки этих руд являются более предпочтительными, чем пирометаллургические [2]. Поиск эффективных путей комплексного освоения сурьмяных руд требует тщательного изучения кинетики гидрохимического окисления антимонита как важного компонента этих руд. Известно, что азотная кислота является активным окислителем сульфидов металлов и селективным растворителем сульфидных руд и концентратов [3].

Наиболее достоверные кинетические характеристики взаимодействия минералов с растворами можно получить, используя метод вращающегося диска [4, 5], который обеспечивает равнодоступность поверхности растворяющегося кристалла в условиях регулируемой конвекции. Этот метод лишен многих недостатков, присущих другим методам исследования кинетики растворения (особенно дисперсных материалов). Сочетание метода вращающегося диска с факторным планированием эксперимента позволяет получать кинетические модели процессов растворения при любых режимах их протекания [6–8].

Цель работы заключалась в изучении кинетики гидрохимического окисления антимонита в растворах азотной кислоты. Для достижения указанной цели было необходимо получить адекватные кинетические модели, позволяющие рассчитывать удельную скорость растворения антимонита при различных сочетаниях значений факторов (концентрации реагента, температуры, частоты вращения диска и продолжительности измерений). Физико-химическая интерпретация полученных моделей позволила установить закономерности протекания процесса, определить его макромеханизм и выявить лимитирующие стадии растворения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальная часть исследования включала в себя подготовку дисков антимонита, эксперименты по гидрохимическому окислению, получение кинетических моделей и их физико-химическую интерпретацию.

Реагенты

В качестве объекта исследования был выбран образец природного антимонита. По результатам химического анализа он содержал 71,1 % сурьмы и 28,2 % серы (по массе), что соответствует формуле Sb_2S_3 . Содержание молекулярной серы было менее 0,07 %, As_2S_3 – менее 0,3 %, нерастворимого в царской водке осадка – менее 0,2 %. Влажность образца составляла менее 0,03 %.

Диски диаметром 3,5 см и толщиной примерно 0,45 см были вырезаны из цельной горной породы. Поверхности дисков полировали, затем замачивали в 0,5 М растворе HNO_3 в течение 10–15 мин, после чего тщательно промывали деионизированной водой. Замачивание в азотной кислоте было необходимо для устранения проблем воспроизводимости, связанных с подготовкой поверхностей дисков.

Растворы азотной кислоты готовились из деионизированной воды и реактивов квалификации «х.ч.».

Процедура измерения скорости растворения

Эксперименты по растворению проводились с использованием вращающегося диска, что обеспечивало однородность доступной поверхности и четкую гидродинамику. Если растворение лимитируется скоростью массопереноса, скорость растворения равна потоку растворенного вещества из объема жидкости к поверхности диска и, следовательно, пропорциональна квадратному корню скорости вращения. Если же растворение лимитируется кинетикой поверхностной реакции, скорость растворения не зависит от скорости вращения. Дополнительные сведения о теории массопереноса вблизи вращающегося диска приведены в литературе [4–6]. Методика выполнения эксперимента подробно описана в [5, 6].

В каждом опыте объем раствора азотной кислоты составлял 200 мл. Для того чтобы расход азотной кислоты на растворение сульфида сурьмы не влиял на исходную концентрацию HNO_3 , всегда использовали значительный избыток кислоты от стехиометрически необходимого количества.

Эксперименты проводились в термостатированном реакторе с точностью установки температуры 0,1 °С. Диск, вращающийся с заданной частотой, помещался в реактор с раствором азотной кислоты с заданными температурой и концентрацией раствора. В ходе экспериментов из реактора периодически отбиралось около 10 проб раствора, которые анализировались на содержание сурьмы методами переменного тока и экстракционной фотометрии. При образовании на поверхности диска твердой фазы ее одновременно эвакуировали и анализировали в обычном режиме. Содержание сурьмы в растворе и твердой фазе суммировалось. Скорость гидрохимического окисления (W , моль·дм⁻²·с⁻¹) рассчитывали по общему количеству сурьмы, перешедшей с единицы площади поверхности диска (Q , моль·дм⁻²) за единицу времени. Каждый эксперимент повторяли не менее 3 раз.

Процедура получения кинетических моделей

Для изучения кинетики гидрохимического окисления антимонита использовался метод полного факторного эксперимента. В общем случае между W и наиболее важными влияющими факторами – молярной концентрацией раствора азотной кислоты C (моль·дм⁻³), температурой T (К), частотой вращения диска ω (с⁻¹) и длительностью измерений τ (с) – существует следующая зависимость:

$$W = k_0 \cdot C^n \cdot \exp(-E_a / RT) \cdot \omega^m \cdot \tau^p. \quad (1)$$

Логарифмирование выражения (1) приводит к линейному уравнению

$$\ln W = \ln k_0 + n \cdot \ln C + q/T + m \cdot \ln \omega + p \cdot \ln \tau, \quad (2)$$

где $q = -E_a/R$. Для упрощения вида полиномиальных моделей в качестве влияющих факторов обычно выбирались $\ln C$, $1/T$, $\ln \omega$, $\ln \tau$, а в качестве функции отклика – $\ln W$. Замена переменных: $y = \ln W$; $X_1 = \ln C$; $X_2 = 1/T$; $X_3 = \ln \omega$; $X_4 = \ln \tau$ и последующий их переход к безразмерным значениям факторов x_i по формуле

$$x_i = (X_i - \bar{X}_i) / \Delta X_i$$

позволили в результате полного факторного эксперимента 2^4 получить полиномиальные модели в виде

$$y = b_0 + \sum_i b_i x_i + \sum_{i \neq j} b_{ij} x_i x_j. \quad (3)$$

(Коэффициенты при взаимодействиях третьего и четвертого порядков во всех случаях оказались незначимыми).

Полученные таким образом полиномиальные модели проверяли на адекватность, а затем преобразовывали в уравнения скорости, физико-химическую интерпретацию которых проводили так, как описано нами ранее [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изучены зависимости количества сурьмы, перешедшей с единицы площади поверхности диска (Q , моль·дм⁻²), от продолжительности окисления (τ , с) при различных концентрациях азотной кислоты (рис. 1). Видно, что на начальном участке этих кривых (при $\tau < 1\,000$ с) наблюдаются прямые зависимости между Q и τ . Это означает независимость начальной скорости процесса от продолжительности окисления. По мере накопления на поверхности диска осадков молекулярной серы и Sb_2O_5 (при $\tau > 2\,000$ с) наблюдаются отклонения от линейности. В этих случаях отмечается влияние продолжительности процесса на скорость окисления.

Прежде всего определяли начальную скорость окисления. При $\tau < 1\,000$ с и $\omega = 4,0$ с⁻¹ исследовали влияние концентрации растворов азотной кислоты на скорость окисления при различных температурах (рис. 2). Видно, что увеличение C приводит к увеличению W . Наиболее значительный рост скорости растворения наблюдался при $C = 4 \dots 10$ моль·дм⁻³. Подобная тенденция была обнаружена ранее при гидрохимическом окислении пирита азотной кислотой [9]. При $C > 10$ моль·дм⁻³ скорость окисления слабо зависит от концентрации HNO_3 .

Затем при $\tau < 1\,000$ с и $\omega = 4,0$ с⁻¹ были исследованы зависимости натурального логарифма скорости окисления от обратной температуры при различных концентрациях растворов азотной кислоты (рис. 3). Очевидно, что скорость растворения увеличивается с ростом температуры, причем на эту зависимость влияет концентрация окислителя.

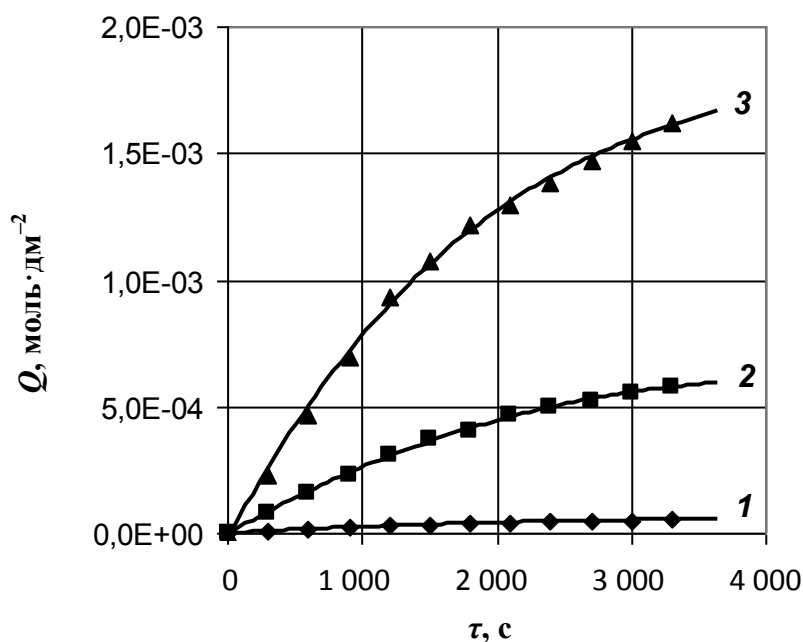


Рис. 1. Зависимости количества сурьмы, перешедшей с единицы площади поверхности диска (Q , $\text{моль} \cdot \text{дм}^{-2}$), от продолжительности окисления (τ , с) при различных концентрациях азотной кислоты C ($T = 323 \text{ К}$, $\omega = 4,0 \text{ с}^{-1}$):
1 – 2 М, 2 – 6 М, 3 – 10 М

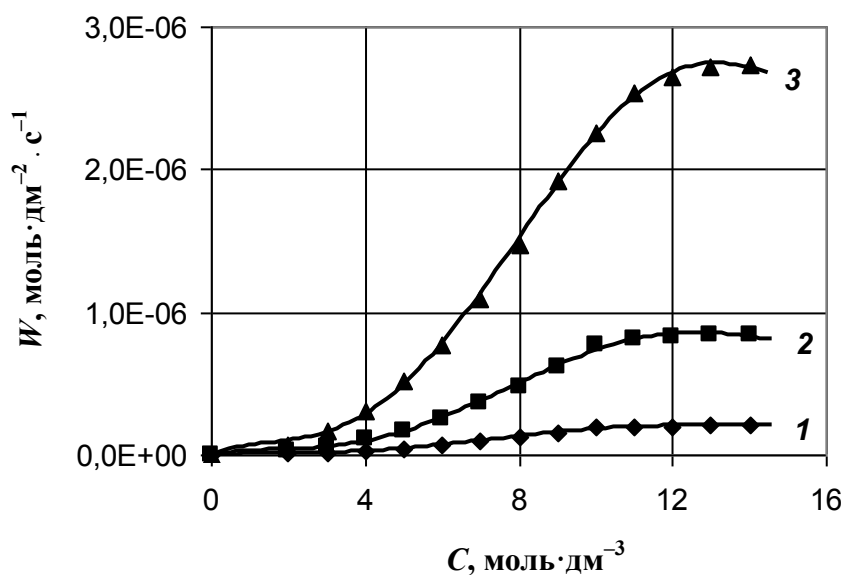


Рис. 2. Влияние концентрации растворов азотной кислоты C на скорость окисления антимонита W при различных температурах T ($\tau < 1000 \text{ с}$, $\omega = 4,0 \text{ с}^{-1}$):
1 – 293 К, 2 – 323 К, 3 – 353 К

При $C = 2 \dots 10$ моль·дм⁻³, $T = 293 \dots 353$ К, $\omega = 1,6 \dots 10,0$ с⁻¹ и $\tau = 60 \dots 900$ с получена следующая адекватная кинетическая модель:

$$W = 2,63 \cdot 10^{-4} \cdot C^{3,20-(340/T)} \cdot \exp(-3560/T) \cdot \omega^{0,18} \cdot \tau^0. \quad (4)$$

Анализ уравнения (4) показывает, что скорость окисления не зависит от продолжительности экспериментов ($W \sim \tau^0$). Этому соответствует область линейности на рис. 1.

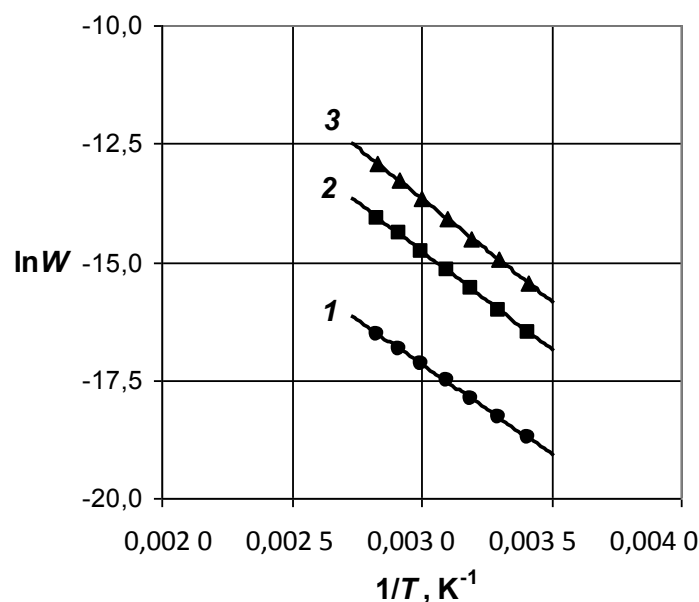
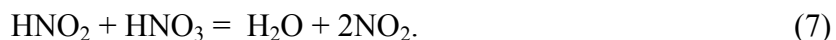
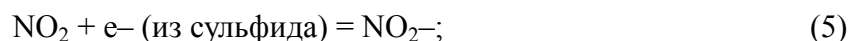


Рис. 3. Влияние обратной температуры на натуральный логарифм скорости окисления антимонита W при различных концентрациях растворов азотной кислоты C ($\tau < 1000$ с, $\omega = 4,0$ с⁻¹): 1 – 2 М, 2 – 6 М, 3 – 10 М

Порядок скорости окисления по концентрации азотной кислоты, по-видимому, зависит от температуры: при $T = 293$ К он равен 2,04, тогда как повышение T до 353 К приводит к его некоторому повышению до 2,24. Наблюдаемый высокий (выше второго) порядок скорости окисления по концентрации азотной кислоты можно объяснить автокаталитическим действием продуктов восстановления кислоты (NO_2 и HNO_2) на кинетику процесса. Аналогичная ситуация при гидрохимическом окислении других сульфидов азотной кислотой была описана в литературе ранее [9].

Механизм автокаталитического действия NO_2 и HNO_2 предложен Эвансом [10]:



Регенерированный в реакции (7) NO_2 возвращается в качестве реагента в полуреакцию (5).

Влияние температуры на скорость окисления антимонита носит сложный характер. Согласно модели (4), кажущаяся энергия активации зависит от концентрации азотной кислоты: при $C = 2$ моль·дм⁻³ она равна 31,5 кДж·моль⁻¹, тогда как увеличение C до 10 моль·дм⁻³ приводит к значению 36,1 кДж·моль⁻¹. Изменение энергии активации с ростом концентрации окислителя свидетельствует о сложном многостадийном механизме взаимодействия антимонита с азотной кислотой.

Из уравнения (4) следует, что скорость окисления слабо зависит от частоты вращения диска (порядок W по ω равен 0,18). Обычно при автокаталитическом действии продуктов восстановления азотной кислоты этот порядок имеет отрицательные значения [9], что было объяснено удалением каталитически активных продуктов восстановления HNO_3 с поверхности диска с ростом ω . Наблюдаемое в данной работе значение 0,18, по нашему мнению, является кажущимся и суммарным. Это результат сочетания кинетически контролируемого характера процесса (с автокаталитическим действием продуктов на скорость процесса) и диффузионно-контролируемого ($W \sim C^{0,5}$), когда скорости диффузии и химической реакции становятся соизмеримыми.

Комплексный анализ зависимости скорости процесса окисления от основных факторов позволяет сделать вывод о том, что в изученных условиях ($\tau < 1000$ с) взаимодействие антимонита с растворами азотной кислоты протекает в смешанном, близком к кинетическому режиме с возникновением диффузионных ограничений при уменьшении концентрации реагента и повышении температуры.

При окислении антимонита в более концентрированных растворах азотной кислоты ($C > 10$ моль·дм⁻³) достигается состояние адсорбционного насыщения. Полученная при $T = 293 \dots 353$ К, $\omega = 1,6 \dots 10,0$ с⁻¹ и $\tau = 60 \dots 900$ с кинетическая модель

$$W = 0,768 \cdot C^0 \cdot \exp(-4440/T) \cdot \omega^0 \cdot \tau^0 \quad (8)$$

соответствует $E_a = 36,9$ кДж·моль⁻¹. Взаимодействие контролируется кинетически ($W \sim \omega^0$). Лимитирующей стадией является химическая реакция антимонита с азотной кислотой. Нулевой порядок W по концентрации HNO_3 обусловлен насыщением реакционной поверхности сульфида сурьмы(III) каталитически активными продуктами восстановления азотной кислоты. Отсутствие зависимости скорости растворения от частоты вращения диска (псевдонулевой порядок W по ω) можно объяснить избытком этих каталитически активных частиц в концентрированных растворах HNO_3 . В результате их удаление из зоны реакции не приводит к уменьшению W с ростом ω .

При $\tau > 2000$ с наблюдается образование твердой фазы на поверхности вращающегося диска, приводящее к ограничению внутренней диффузии и резкому снижению скорости окисления (обнаружено, что количество окисленного антимонита Q увеличивается пропорционально $\tau^{0,5}$, и это соответствует области нелинейности на рис. 1).

При $C = 2 \dots 10$ моль·дм⁻³; $T = 293 \dots 353$ К; $\omega = 1,6 \dots 10,0$ с⁻¹, $\tau = 200 \dots 300$ с получена следующая кинетическая модель:

$$W = 4,86 \cdot 10^{-5} \cdot C^{2,11} \cdot \exp(-1740/T) \cdot \omega^0 \cdot \tau^{-0,5}. \quad (9)$$

Очевидно, что уменьшение скорости растворения со временем ($W \sim \tau^{-0,5}$) обусловлено тем, что $Q \sim \tau^{0,5}$, поскольку $W = \partial Q / \partial \tau$. Относительно низкая кажущаяся энергия активации ($E_a = 14,5$ кДж·моль⁻¹) и независимость скорости окисления от частоты вращающегося диска ($W \sim \omega^0$) свидетельствуют о том, что при длительном взаимодействии скорость окисления антимонита контролируется внутренней диффузией в порах новой фазы, образующейся на поверхности минерала. Результаты химического анализа показали, что эта фаза содержит молекулярную серу и Sb_2O_5 . Относительно высокий порядок W по C ($W \sim C^{2,11}$) вместо $W \sim C$, что характерно для внутридиффузионного процесса, является следствием того, что скорость автокаталитической химической реакции сопоставима со скоростью внутридиффузионного процесса. Поэтому процесс протекает в смешанном режиме, близком к внутридиффузионному.

ВЫВОДЫ

С использованием метода вращающегося диска и факторного планирования эксперимента изучена кинетика гидрохимического окисления антимонита в растворах азотной кислоты. Определено влияние концентрации азотной кислоты в растворе, температуры, частоты вращения диска и продолжительности взаимодействия. Получены адекватные кинетические модели, позволяющие рассчитать скорость окисления антимонита при любой комбинации значений вышеуказанных факторов.

На начальном этапе окисления процесс протекает в смешанном режиме, близком к кинетическому. Обнаружено автокаталитическое действие продуктов реакции на скорость окисления. Установлено, что порядок скорости растворения по концентрации азотной кислоты превышает 2. Кажущаяся энергия активации варьируется в пределах от 31,5 кДж·моль⁻¹ (в 2 М растворах азотной кислоты) до 36,1 кДж·моль⁻¹ (в 10 М растворах HNO_3).

При $C > 10$ моль·дм⁻³ процесс протекает в кинетическом режиме. Наблюдается насыщение реакционной поверхности сульфида сурьмы(III) каталитически активными продуктами восстановления азотной кислоты. Кажущаяся энергия активации составляет 36,9 кДж·моль⁻¹.

При длительном взаимодействии скорость окисления антимонита контролируется внутренней диффузией в порах новой фазы, образующейся на поверхности минерала и состоящей из молекулярной серы и Sb_2O_5 .

Полученные кинетические характеристики следует учитывать при определении оптимальных условий реализации существующих технологий переработки содержащих сурьму руд и концентратов, а также в качестве информации для разработки новых. Они расширяют базу данных по кинетике гидрохимического окисления сульфидов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов А.А. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов. М.: МГТУ, 2005. Т. 3 (ч. 2). С. 383–418.
2. Сурьма / под ред. С.М. Мельникова. М.: Metallurgia, 1977. 536 с.
3. Lutsik V.I., Sobolev A.E. The investigation of the kinetics of hydrochemical oxidation of metal sulphides with the aim of determination of the optimal conditions for the selective extraction of molybdenum from ores // *J. Min. & Metall.* 2005. Vol. 41B, pp. 33–45.
4. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. М.: Физматгиз, 1959. 699 с.
5. Каковский И.А., Поташников Ю.М. Кинетика процессов растворения. М.: Metallurgia, 1975. 224 с.
6. Луцик В.И., Соболев А.Е. Кинетика гидролитического и окислительного растворения сульфидов металлов. М.: ТГТУ, 2009. 139 с.
7. Lutsik V.I., Sobolev A.E. The kinetic models of dissolution processes of oxide and sulphide minerals. *10th Conference on Environmental and Mineral Processing*; Ed. P. Fečko. Part 2. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2006, pp. 137–143.
8. Lutsik V.I., Sobolev A.E. The kinetics of hydrolytic and oxidative dissolution of oxide and sulphide minerals. *XII Balkan Mineral Processing Congress*; Ed. G.N. Anastassakis. Delphi: National Technical University of Athens, 2007, pp. 493–499.
9. Соболев А.Е., Луцик В.И., Поташников Ю.М. Кинетика гидрохимического окисления персульфида железа (II) (пирита) азотной кислотой // *Журн. физ. химии*. 2001. Т. 75. № 5. С. 850–853.
10. Evans U.R. Behavior of metals in nitric acid // *Trans. Farad. Soc.* 1944. Vol. 40, pp. 120–130.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

СОБОЛЕВ Александр Евгеньевич – кандидат химических наук, доцент кафедры химии и технологии полимеров, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. Доцент кафедры химии, ФГБОУ ВО Тверской ГМУ МИНЗДРАВА России, г. Тверь, ул. Советская, д. 4. E-mail: sobolevae@tvvgmu.ru

СТАРОВОЙТОВА Наталья Юрьевна – кандидат химических наук, доцент кафедры химии и технологии полимеров, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: xt-337@mail.ru

ДОЛУДА Валентин Юрьевич – доктор химических наук, заведующий кафедрой химии и технологии полимеров, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: doludav@yandex.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Соболев А.Е., Старовойтова Н.Ю., Долуда В.Ю. Кинетика гидрохимического окисления антимонита в растворах азотной кислоты // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2026. № 1 (29). С. 93–102.

**KINETICS OF ANTIMONITE'S HYDROCHEMICAL OXIDATION
IN SOLUTIONS OF NITRIC ACID***A.E. Sobolev^{1,2}, N.Yu. Starovoytova¹, V.Yu. Doluda¹*¹*Tver State Technical University (Tver),*²*Tver State Medical University (Tver)*

Abstract. The kinetics of hydrochemical oxidation of antimonite in solutions of nitric acid was studied using the rotating disk method and the factor experiment design. The adequate kinetic models allowing calculating the specific oxidation rate at any combination of the values of concentration of nitric acid solutions, temperature, disk rotation frequency, and duration of interaction were obtained. The oxidation process is found to proceed in a mixed mode, close to chemically controlled. Gradually, as the sediments of elemental sulfur and Sb_2O_5 accumulate on the disk surface, the process becomes controlled by internal diffusion. The obtained kinetic characteristics enlarge the database on hydrochemical oxidation kinetics of sulphides and can be used for the elaboration of the recommendations for the effective comprehensive exploitation of antimony-bearing ores and concentrates.

Keywords: antimonite (antimony(III) sulfide), nitric acid, hydrochemical oxidation, kinetics.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

SOBOLEV Alexander Evgenevich – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry and Polymer Technology, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. Associate Professor of the Department of Chemistry, Tver State Medical University (TvSMU) of the Ministry of Health of the Russian Federation, 4, Sovetskaya Street, Tver. E-mail: sobolevae@tvgmu.ru

STAROVOITOVA Natalia Yurievna – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry and Polymer Technology, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: xt-337@mail.ru

DOLUDA Valentin Yuryevich – Doctor of Chemical Sciences, Head of Department of Chemistry and Polymer Technology, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: doludav@yandex.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Sobolev A.E., Starovoytova N.Yu., Doluda V.Yu. Kinetics of antimonite's hydrochemical oxidation in solutions of nitric acid // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2026. No. 1 (29), pp. 93–102.