

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 1.582	ПИИИ (Russia) = 3.939	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.771	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](https://doi.org/10.15863/TAS) DOI: [10.15863/TAS](https://doi.org/10.15863/TAS)**International Scientific Journal
Theoretical & Applied Science**

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2022 Issue: 07 Volume: 111

Published: 28.07.2022 <http://T-Science.org>

Issue

Article

**Murodjon Abdusalimzoda Samadiy**

Yangiyer branch of Tashkent Chemical Technological Institute
Associate Professor of the Chemical Technology of Inorganic Substances,
Deputy Director on Science and Innovation
121000, Republic of Uzbekistan, Yangiyer, Tinchlik str. 1.
samadiy@inbox.ru

Jasur Bozorovich Makhmayorov

Yangiyer branch of Tashkent Chemical Technological Institute
Assistant, Head of the Department for Youth Affairs, Culture and Education

Bakhrom Azimjonovich Makhkamov

Yangiyer branch of Tashkent Chemical Technological Institute
Assistant, Scientific secretary

Sherzod Mamarasulovich Qodirov

Jizzakh Polytechnic Institute
Assistant,
130100, Republic of Uzbekistan, Jizzakh, st. I.Karimova, 4

Jasur Baykaraevich Farmonov

Yangiyer branch of Tashkent Chemical Technological Institute
Assistant

**STUDY OF THE KINETIC CHARACTERISTICS OF THE PROCESS OF
OBTAINING ZINC SULFATE**

Abstract: In this article, studies were carried out to substantiate the kinetic characteristics of the process of obtaining zinc sulfate from the zinc concentrate of the Khandiza deposit. For this, the effect of temperature and duration of the process of autoclave extraction of zinc in a 30% solution of sulfuric acid at a ratio of Zn:H₂SO₄=1:1.05 was studied. The variables were temperature 65, 70 and 75°C and the duration of the leaching process 60, 90 and 120 minutes.

Key words: zinc sulfate, sulfuric acid, zinc concentrate.

Language: Russian

Citation: Samadiy, M. A., Makhmayorov, J. B., Makhkamov, B. A., Qodirov, Sh. M., & Farmonov, J. B. (2022). Study of the kinetic characteristics of the process of obtaining zinc sulfate. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 07 (111), 188-192.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-07-111-25> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2022.07.111.25>

Scopus ASCC: 1604.

**ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ СУЛЬФАТА
ЦИНКА**

Аннотация: В данной статье проведены исследования по обоснованию кинетических характеристик процесса получения сульфата цинка из цинкового концентрата месторождения Хандиза. Для этого изучено влияние температуры и продолжительности процесса автоклавного извлечения цинка в 30% раствор серной кислоты при соотношении Zn:H₂SO₄=1:1,05. Переменными параметрами были температура 65, 70 и 75°C и продолжительность процесса выщелачивания 60, 90 и 120 минут.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

Ключевые слова: сульфат цинка, серная кислота, цинковый концентрат.

Введение

Сульфат цинка (гептагидрат сульфата цинка $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, цинковый купорос) применяется в качестве микроэлемента, как минеральная добавка к кормам, при производстве минеральных красок, как отбеливатель для бумаги, при производстве различных лекарств, в металлургии, гальванотехнике, производстве дрожжей, пива, кожаных изделий, пропитки дерева [1-4].

Сфалерит является одним из главных сырьевых источников для получения цинка, который обычно находится в сульфидном состоянии. Из сфалерита выплавляют металлический цинк, попутно извлекают Cd, In, Ga и другие ценные компоненты [5]. Сфалерит используют в лакокрасочном производстве для изготовления цинковых белил, применяют для получения латуни. Большое значение имеет получение из природного сфалерита химически чистого ZnS, активированного Ag, Cu, который применяют для изготовления люминофоров, различных светосоставов и светящихся красок. Кроме того, природный сфалерит используется в качестве фотокатализатора разложения красителей в воде [6-8].

Сульфат цинка производится в сочетании с процессами производства других цинксодержащих продуктов. Его получают путем обработки минеральных руд, золы цинка и переработанных продуктов, содержащих металлический цинк или оксид цинка, серной кислотой с последующей фильтрацией, кристаллизацией, измельчением и упаковкой [9-12].

Мировое производство цинка в 2019 году оценивалось в 13 миллионов тонн, что на 4% больше, чем в 2018 году. Заметный рост производства цинка произошел в Австралии, Китае и Южной Африке [13-16]. В Австралии в 2017 году был открыт проект хвостохранилищ Woodlawn и значительный рост добычи произошел на рудниках Дугалд-Ривер и Леди Лоретта, а также в двух проектах по переработке хвостов, запущенных в 2018 году. В Южной Африке производство увеличилось на руднике Гамсберг, который был введен в эксплуатацию в конце 2018 года. По данным Международной исследовательской группы по свинцу и цинку мировое производство рафинированного цинка в 2019 году оценивалось в 13,49 млн. тонн, а потребление в 13,67 млн. тонн, в результате чего дефицит между производством и потреблением составлял примерно 180 000 тонн рафинированного цинка [17-18]. Внутреннее производство цинка снизилось в 2019 году частично из-за закрытия рудника Pend Oreille в штате Вашингтон после того, как текущие запасы

были исчерпаны. Рудник был вновь открыт в 2014 году после закрытия с 2009 года. Видимое потребление рафинированного цинка в США выросло до 5-летнего максимума в 950 000 тонн в 2019 году. Расчетная среднегодовая цена на цинк особого, высокого качества в Северной Америке снизилась на 11% в 2019 г. по сравнению с 2018 г. или на 1,25 долл. США за фунт [19-25].

Цель и методы исследования.

Цель данного исследования заключается в оценке кинетических характеристик сернокислотного разложения цинкового концентрата. Для этого учитывались результаты исследований табл. 3.1. Было установлено значительное изменение роста степени конверсии сульфата цинка при соотношении $Zn:H_2SO_4=1:1,05$, продолжительности процесса 90 минут и давлении 10 атм., которое происходит в пределах 65-75°C. При температуре выше 75°C изменение степени конверсии практически не происходит, поэтому кинетические характеристики как константа скорости реакции и энергия активации были рассчитаны именно при вышеуказанных температурных интервалах – 338; 343 и 348 К.

Рентгенофазовый анализ проводили на дифрактометре XRD-6100 Shimadzu, который позволяет проведение рентгенофазового анализа, анализа степени кристалличности, анализа напряжений, остаточного аустенита и решения многих других задач. Возможность использования любых рентгеновских трубок, соответствующих европейскому стандарту, а также широкий выбор дополнительных приставок делает рентгеновский дифрактометр XRD-6100 универсальным и подходящим для решения любых аналитических задач. Прибор обладает программным обеспечением, позволяющим осуществлять сбор, хранение, интерпретацию и обработку данных, текущий контроль состояния дифрактометра, качественный и количественный фазовый анализ и другие исследования, производить конвертацию файлов экспериментальных данных в текстовые форматы, создавать собственные библиотеки данных. Дифрактометр XRD-6100 с вертикальным θ - 2θ гониометром предназначен для решения большинства прикладных и исследовательских задач [26-27].

Метод атомно-эмиссионной спектроскопии, использующий в качестве источника возбуждения атомов индуктивно-связанную плазму (ИСП). Которая представляет собой сильно ионизированный инертный газ (аргон) с одинаковым числом электронов и ионов, поддерживаемых РЧ (радиочастотным) полем. Полученная в плазме температура

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
 ISI (Dubai, UAE) = 1.582
 GIF (Australia) = 0.564
 JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
 ПИНЦ (Russia) = 3.939
 ESJI (KZ) = 8.771
 SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
 PIF (India) = 1.940
 IBI (India) = 4.260
 OAJI (USA) = 0.350

десольватирует, превращает в пар и ионизирует методом масс-спектрометрии (МС) и атомноэмиссионной спектрометрии (АЭС) атомы исследуемого образца. Обычно пределы обнаружения находятся в диапазоне от менее – нанограмма (МС-ИСП) до менее - микрограмма (АЭС-ИСП) на литр [29].

Рентгенофлуоресцентный анализ проводили на спектрометре Zetium. Рентгеновская флуоресцентная спектроскопия (XRF) позволяет выполнять элементный анализ разнообразных материалов, включая твердые, жидкие и порошкообразные. Спектрометр Zetium, разработанный для управления технологическими процессами, а также для исследований и разработок, стал лидером благодаря высококачественной конструкции и инновационным функциям анализа от Be до Am в широком диапазоне концентраций [30].

Результаты и их обсуждение.

Процесс серноокислотной обработки цинкового концентрата ускоряется с повышением

температуры в кинетической области, далее процесс взаимодействия частиц между исходными компонентами продолжается в диффузионной области, где значительное влияние оказывает продолжительность процесса [31].

В связи с этим для описания процесса было использовано кинетическое уравнение первого порядка [32]:

$$K = 2,303 / \tau \cdot \lg C / (C_0 - C_\tau) \quad (1)$$

где C_0 и C_τ – ожидаемая максимальная степень конверсии цинкового концентрата, соответственно, на начальной стадии разложения и за истекший промежуток времени (τ), K – константа скорости разложения.

Полученные данные из уравнения (1) были переведены в логарифмические значения как $\lg K$ и $\lg (C_0 - C_\tau)$.

В табл. 1 приведены данные влияния температуры на константу скорости реакции взаимодействия цинка с серной кислотой из концентрата при 90 мин.

Таблица 1. Влияние температуры и продолжительность процесса на константу скорости реакции взаимодействия цинка с серной кислотой

Время (τ), мин.	Температура, К	Константа скорости, $K \cdot 10^{-2}, \tau^{-1}$	$\lg K$	* $\lg(C_0 - C_\tau)$
90	338	0,01720	-1,76448	1,10380
	343	0,01878	-1,72619	1,02119
	348	0,02074	-1,68309	0,91908
	Среднее	0,01891	-1,72459	1,01469

*Примечание: время взаимодействия 90 мин.

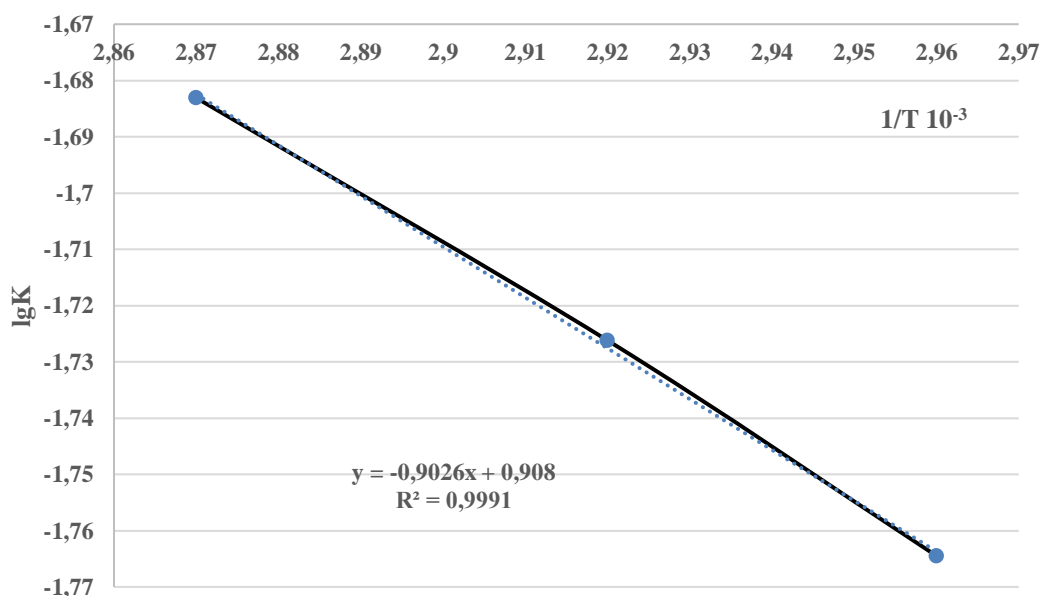


Рисунок 1. Зависимость константы скорости от температуры

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

Из таблицы видно, что с повышением температуры увеличивается и константа скорости реакции взаимодействия цинкового концентрата с серной кислотой. Скачок константы скорости наблюдается в кинетической области при температуре 338, а далее - в диффузионной области с 348 К и более. Температура практически не влияет на константу скорости реакции.

На рис. 1 приведена зависимость констант скорости реакции от температуры, которая выражается прямой линией и уменьшается с увеличением значений $1/T \cdot 10^3$.

Прямолинейная зависимость $\lg K$ от τ говорит о протекании процесса извлечения цинка из цинкового концентрата по первому порядку, о чем свидетельствуют корреляционные коэффициенты (R^2).

Константа скорости реакции образования сульфата в зависимости от температуры подчиняется уравнению Аррениуса и

эмпирически выражается следующими формулами:

$$K = 4,1721 \cdot 10^{-3} \cdot \exp(4380,86/T)$$

$$\text{или } K = 4,1721e^{\frac{-4380,86}{T}}$$

Найденные значения константы скорости реакции извлечения цинка из концентрата использовали для определения кажущейся энергии активации (E_a) (табл. 2).

Среднее значение E_a процесса вычислено по формуле [33]:

$$E_a = b \cdot 4,576$$

В зависимости от температуры в пределах 338-348 К значение кажущейся энергии активации E_a цинкового концентрата составляет 4,06 и 4,71 ккал/моль или 16,97 и 19,72 кДж/моль, а среднее значение $E_{a, \text{ср.}}$ составляет 4,39 ккал/моль или 18,34 кДж/моль, соответственно.

Таблица 2. Энергия активации реакции взаимодействия цинкового концентрата с серной кислотой

Т, К	$1/T \cdot 10^{-3}$	Энергия активации		Среднее значение энергии активации	
		E_a , ккал/моль	E_a , кДж/моль	$E_{a, \text{ср.}}$, ккал/моль	$E_{a, \text{ср.}}$, кДж/моль
338	2,96	4,06	16,97	4,39	18,34
343	2,92				
343	2,92	4,71	19,72		
348	2,87				

Показатели энергии активации свидетельствуют о высокой реакционной способности цинкового концентрата. Результаты могут послужить для оценки технологичности сырья на химических предприятиях по производству цинковых солей.

Выводы.

Таким образом, расчетные данные кинетических закономерностей подтверждают

выводы о реакционной способности цинкового концентрата при его разложении с серной кислотой. Энергия активации увеличивается с повышением температуры при давлении 10 атм и соотношении $Zn:SO_4 = 1:1,05$, а константа скорости реакции концентрата увеличивается с ростом температуры при оптимальном времени взаимодействия.

References:

- (2017). Neorganicheskie produkty. «Evrazijskij himicheskij rynek», №04(151), pp.27-31.
- Duktova, N.A., Masterov, A.S., & Ravkov, E.V. (2020). Vvedenie v agrarnye professii: uchebno-metodicheskoe posobie. Osnovy sel'skhozajstvennogo proizvodstva: agronomija. V 3 ch. Ch. 3, (pp.139-145). Gorki: BGSNA.
- Lapa, V.V., Emeljanova, V.N., Leonov, F.N., Rak, M.V., Zolotar', A.K., Shibanova, I.V., Brilev, M.S., Jyrgel', & Borodin, P.V. (2011). Sistema primenija udobrenij: uchebnoe posobie dlja studentov uchrezhdenij vysshego obrazovanija po special'nostjam «Agrohimiya i pochvovedenie», «Zashhita rastenij i karantin». [i dr.]; pod red. V.V. Lapy. (pp.335-350). Grodno: GGAU.
- Lide, D.R. (2005). CRC Handbook of Chemistry and Physics 86TH Edition 2005-2006. CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton, FL, pp.4-9.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
PIIHQ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

5. Kadirova, Z.Ch., & Rahmonova, D.S. (2015). *Himicheskij i mineralogicheskij sostav sfaleritovogo koncentrata mestorozhdenija handiza*. VII Vserossijskaja molodezhnaja nauchnaja konferencija «Mineraly: stroenie, svojstva, metody issledovanija», - Ekaterinburg: Institut geologii i geohimii UrO RAN, pp.55-57.
6. Babu, M.N., Sahu, K.K., & Pandey, B.D. (2002). Zinc recovery from sphalerite concentrate by direct oxidative leaching with ammonium, sodium and potassium persulphates. *Hydrometallurgy*, 64, pp.119-129.
7. Farmanov, A.K. (2011). Almalykskij GMK - za gody nezavisimosti Respubliki Uzbekistan. *Gornyj vestnik Uzbekistana*, 2, pp.8-13.
8. Valuev, D.V., & Gizatulin, R.A. (2012). *Tehnologii pereabotki metallurgicheskikh otdov: uchebnoe posobie*. Jyrginskij tehnologicheskij institut. (pp.133-134). Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta.
9. (2011). *International Zinc Association*. Zinc Production—From Ore to Metal. pp. 4-12.
10. Fan, X., Gao Shizhong, W. Y., Guan, X., Wu, X., & Gu, H. (2007). Izuchenie prigotovlenija aktivnogo oksida Zn iz syrogo poroshka oksida Zn. *Wujiyan gongye=Inorg. Chem. Ind.*, 39, № 2, pp. 36-37.
11. Souza, A. D., et al. (2007). Kinetika vyshhelachivanja obozhzhennogo cinkovogo silikatnogo koncentrata rastvorami sernoj kisloty. Kinetics of sulphuric acid leaching of zinc silicate calcine. (Votorantim Metais Zinc. BR 040, Km 284 - CEP 39205-000, Tres Marias, MG, Brazil). *Hydrometallurgy*, 89, № 3-4, pp. 337-345.
12. Krishnan, K. H., Mohanty, D. B., & Sharma, K. D. (2007). Vlijanie mikrovolnovogo obluchenija na vyshhelachivanie cinka iz sul'fidnyh koncentratov. The effect of microwave irradiations on the leaching of zinc from bulk sulphide concentrates produces from Rampura—Agucha tailings. (Central Research and Development Laboratory, Hindustan Zinc Limited, Zinc Smelter Debari, Udaipur, India). *Hydrometallurgy*, 89, № 3-4, pp. 332-336.
13. Beveridge, W. (1941). Foot-rot in sheep: a transmissible disease due to infection with *Fusiformis nodosus*, studies on its cause epidemiology and control. *J. Counc. Sci. Ind. Rev., Bull*, 140, pp.8-14.
14. Cross, R.F. (1978). Response of sheep to various topical, oral and parenteral treatments for footrot. *J. Am. Vet Assoc.*, 173, pp. 1569-1570.
15. Cross, R.F., & Parker, C.F. (1981). Zinc sulfate foot bath for control of ovine foot rot. *J. Am. Vet Assoc.*, 178, pp. 706-708.
16. Kimberling, C.V., & Ellis, R.P. (1990). Advances in the control of foot rot in sheep, *Advances in Sheep and Goat Medicine, Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 6:3, pp. 671-681.
17. Skerman, T.J., Green, R.S., Hughes, J.M., & Herceg, M. (1983). Comparisons of footbathing treatments for ovine footrot using formalin or zinc sulphate. *New Zealand Journal of Veterinary Medicine*, 31, pp. 91-95.
18. Baek, K.S., et al. (2006). Effect of new foot-bath facility and solution on foot health in lactating cows. *J. Lives. Hous. & Env.*, 12:3, pp. 107-114.
19. (2011). *International Zinc Association*. Production-From Ore to Metal, pp. 5-43.
20. Holloway, P.C., Etsell, T.H., & Murland, A.L. (2007). Roasting of La Oroya zinc ferrite with Na₂CO₃. (Univ. of Alberta, Kanada). *Met. and Mater. Trans. B*. 2007. 38, Ns 5, pp. 781-791.
21. Mukongo Tshikele, Maweja Kasonde, Wa Ngalu Bilali, Mutombo Ilunga, Tshilombo Kabamba. (2009). Zinc recovery from the water-jacket furnace flue dusts by leaching and electrowinning in a SEC-CCS cell. (Columbus Stainless, Middleburg, Mpumalanga, JyAR). *Hydrometallurgy*, 97, № 1-2, pp. 53-60.
22. Shawabkeh, R.A. (2010). Hydrometallurgical extraction of zinc from Jordanian electric arc furnace dust. *Hydrometallurgy*, Vol. 104, pp. 61-65. DOI: 10.1016/j.hydromet. 2010.04.014.
23. Agarwal, B.K. (1991). *X-ray spectroscopy*. (p.419). Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
24. Vasil'ev, E.K., & Nahmanson, M.M. (1986). *Kachestvennyj rentgenofazovyj analiz*. (p.195). Novosibirsk: Nauka.
25. Semiohin, I.A., Strahov, B.V., & Osipov, A.I. (1986). *Kinetika himicheskikh reakcij*. (p.232). Moscow: Moskovskij gosudarstvennyj universitet.
26. (2008). *GOST R 8.636-2007 GSI. Mikroskopyjelektronnye rastvrovye, MKS 184-FZ*: Standartinform, (p.18).
27. (2017). *GOST 33850-2016. Opredelenie himicheskogo sostava metodom rentgenofluorescentnoj spektrometrii, MKS 13.080.10*: IPK Izdatel'stvo standartov, (p.10).
28. Makhmayorov, J., et al. (2022). Investigations of roasting process and fractional composition of zinc concentrate of Khandiza deposit. *Chemistry And Chemical Engineering*: Vol. 2022: No. 1, R. 11-15. Article 12. DOI: 10.34920/CCE202212.
29. Semiohin, I.A., Strahov, B.V., & Osipov, A.I. (1986). *Kinetika himicheskikh reakcij*. (p.232). Moscow: Moskovskij gosudarstvennyj universitet.
30. Ospanov, H.K. (1993). *Fiziko-himicheskie osnovy izbiratel'nogo rastvorenija mineralov*. (p.178). Moscow: Nedra.