

УДК 539.2:544.43  
AGRIS P33

<http://doi.org/10.5281/zenodo.2253924>

## ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ НА СКОРОСТЬ РАСТВОРЕНИЯ ХИЗЛЕВУДИТА

©Критова И. Г., Тверской государственный технический университет,  
г. Тверь, Россия, [lazuriny.vi@mail.ru](mailto:lazuriny.vi@mail.ru)

©Пичугина А. И., канд. хим. наук, Тверской государственный технический университет,  
г. Тверь, Россия, [idpo-chem-pichugina@bk.ru](mailto:idpo-chem-pichugina@bk.ru)

## THE INFLUENCE OF NITRIC ACID CONCENTRATION ON THE DISSOLUTION RATE HEAZLEWOODITE

©Kritova I., Tver State Technical University, Tver, Russia, [lazuriny.vi@mail.ru](mailto:lazuriny.vi@mail.ru)

©Pichugina A., Ph.D., Tver State Technical University,  
Tver, Russia, [idpo-chem-pichugina@bk.ru](mailto:idpo-chem-pichugina@bk.ru)

*Аннотация.* В работе представлены результаты исследования влияния концентрации азотной кислоты на скорость растворения хизлевудита. Изучена зависимость количества никеля, перешедшего в раствор от времени протекания процесса растворения. Выявлено отсутствие влияния времени на удельную скорость растворения. Исследованы удельные скорости растворения  $Ni_2S_3$  в широких диапазонах концентрации. Из изученной зависимости был выбран диапазон влияющих факторов для построения математической модели.

*Abstract.* The paper presents the results of research on the influence influence of nitric acid concentration on the dissolution rate heazlewoodite. The dependence of the amount of Nickel transferred to the solution on the time of the dissolution process was studied. The absence of time influence on the specific dissolution rate was revealed. Specific dissolution rates of  $Ni_2S_3$  in wide concentration ranges were investigated. From the studied dependence was chosen a range to build a mathematical model of the influencing factors.

*Ключевые слова:* хизлевудит, сульфид никеля, кинетика растворения, удельная скорость растворения.

*Keywords:* heazlewoodite, nickel sulfides, dissolution kinetics, specific rate of dissolution.

Современные гидрохимические методы извлечения металлов из руд, концентратов и отходов различных производств основываются на всестороннем изучении кинетики и механизме этих процессов. В статье исследованы процессы гидролитического и окислительного растворения синтетического образца хизлевудита от влияния различных факторов. На эффективность растворения влияет природа реагирующих веществ, концентрация, время проведение эксперимента, перемешивание и температура.

Исследуемый образец хизлевудита получен методом высокотемпературного синтеза [1]. Суть метода заключается в спекании порошкообразного никеля с элементарной серой в вакууме. В результате синтеза получают сферические гранулы, которые далее растираются в порошок и прессуются с фенолформальдегидной смолой в виде таблетки с точно известной площадью.

Определение массовой концентрации никеля проводилось фотометрическим методом, основанным на получении комплексного соединения никеля с диметилглиоксимом, с дальнейшим определением массовой концентрации никеля методом фотометрии при 390-430 нм. Образование комплекса никеля с диметилглиоксимом протекает количественно, а сам комплекс стабильный в широком диапазоне значений pH — от 7,5 до 9,0. Нужные значения pH получают путем добавления небольших порций бикарбоната натрия к слабому кислому исходному раствору.

Для исследования кинетики растворения хизлевудита был использован метод вращающегося диска [2]. Преимуществом метода является возможность точного решения полной системы уравнений гидродинамики, позволяющей рассчитать величину диффузионного потока реагента к поверхности растворяемого минерала [3].

Было проведено исследование влияния продолжительности растворения на скорость взаимодействия хизлевудита с азотной кислотой в различных концентрациях.

Кинетическая зависимость представлена на Рисунке 1. Общее время растворения ( $\tau$ , сек) хизлевудита составило 6000 секунд, отбор проб производился каждые 20 минут, температура процесса ( $T$ ) 298 °К, скорость вращения мешалки  $1,6 \text{ с}^{-1}$ , концентрация используемой азотной кислоты составила  $= 0,03 \text{ моль} \cdot \text{экв/л}$ . Удельная скорость растворения ( $W$ ,  $\text{моль} \cdot \text{дм}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ) при данных условиях составила  $1,579 \cdot 10^{-6} \text{ моль} \cdot \text{дм}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Из кинетической зависимости следует, что начиная с первой экспериментальной точки, наблюдается линейная зависимость удельного количества переходящего в раствор никеля ( $Q$ ,  $\text{моль/см}^2$ ) от времени. Поскольку длительное растворение не приводит к замедлению процесса, можно предполагать, что на поверхности синтезированного хизлевудита не образуются твердые продукты взаимодействия. Тот факт, что линейная зависимость нарушается на начальном участке, объясняется остатками дисперсного  $\text{Ni}_3\text{S}_2$  на поверхности диска после его шлифования перед растворением. Во всех исследуемых концентрациях азотной кислоты наблюдалось монотонное увеличение зависимости количества никеля в растворе от времени процесса растворения [4, 5].

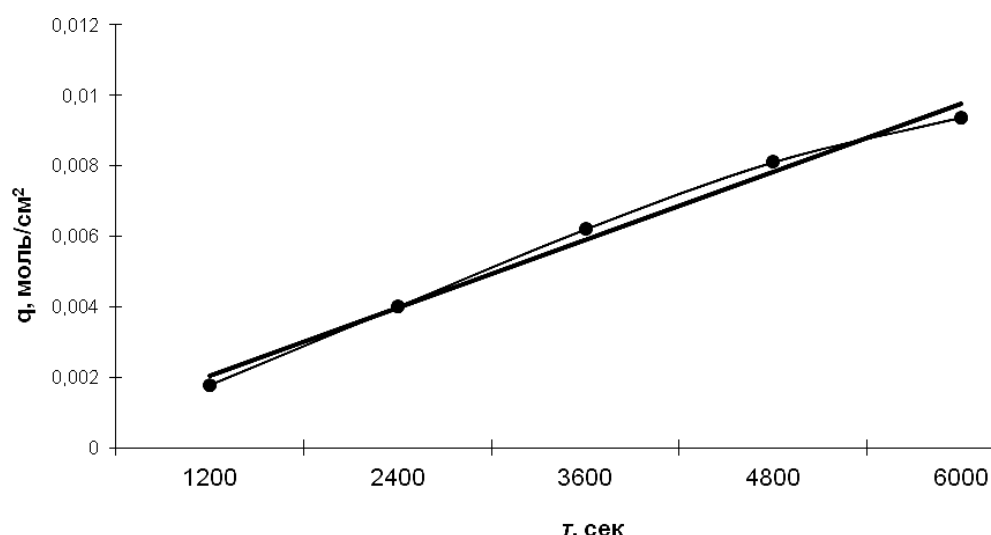


Рисунок 1. Зависимость количества никеля перешедшего в раствор от времени протекания процесса растворения при  $C(\text{HNO}_3) = 0,03 \text{ моль} \cdot \text{экв/л}$ ,  $T = 298 \text{ °К}$  и  $\omega = 1,6 \text{ с}^{-1}$ .

Исследовано растворение хизлевудита при различных концентрациях азотной кислоты. Удельные скорости растворения приведены в Таблице. Условия проведения процессов:  $T = 298 \text{ °К}$  и  $\omega = 10 \text{ с}^{-1}$ .

Таблица

УСЛОВИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ  
 ПО ИЗУЧЕНИЮ ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ РЕАКЦИИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ КИСЛОТЫ

Концентрация ионов $Ni^{2+}$ , С, г-экв /л	Удельная скорость растворения, $W \cdot 10^{-6}$ , моль $\cdot$ см $^{-2}$ $\cdot$ с $^{-1}$
0,003	1,168
0,01	1,239
0,03	1,502
0,05	2,008
0,2	3,250
1	3,999
2	4,663

На Рисунке 2 показана зависимость скорости растворения от концентрации кислоты. Здесь можно выделить две характерные области взаимодействия: область резкого увеличения скорости растворения хизлевудита при  $C(HNO_3) < 0,2$  г-экв/л, где удельная скорость увеличилась в 2,8 раз; и область незначительного увеличения концентрации при  $C(HNO_3) > 0,2$  г-экв/л, где удельная скорость увеличилась в 1,4 раза.

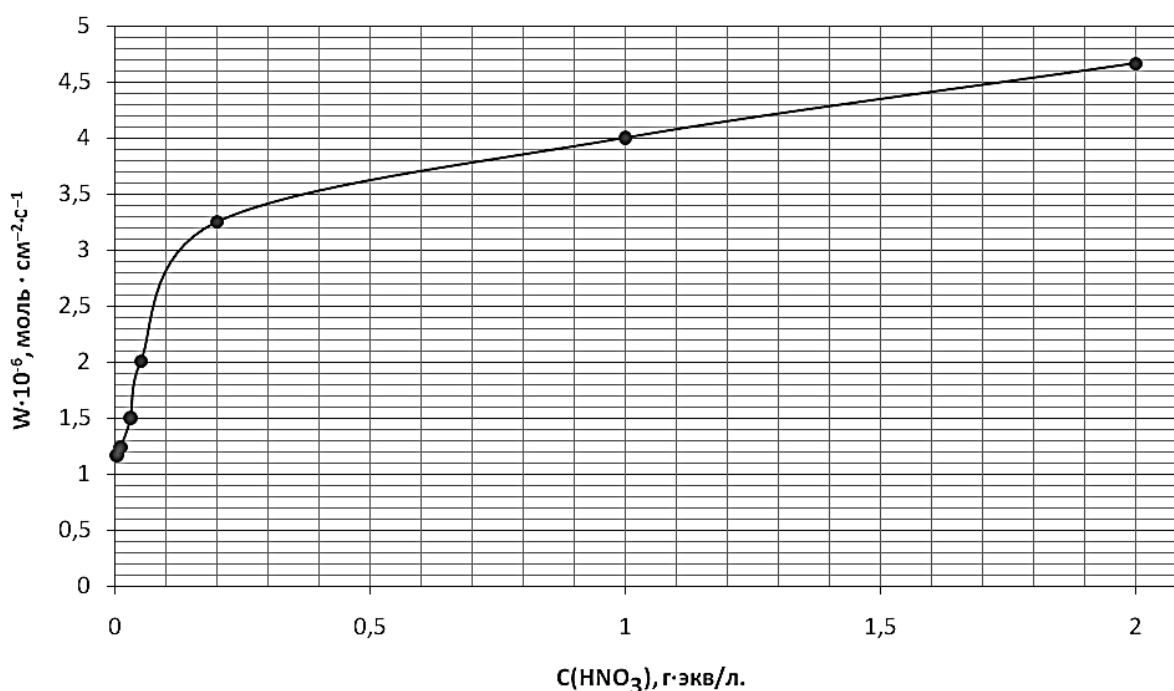


Рисунок 2. Зависимость удельной скорости растворения от концентрации азотной кислоты.

Изучена зависимость количества никеля, перешедшего в раствор от времени протекания процесса. Растворение хизлевудита в азотной кислоте проходит в кинетическом режиме. Исследованы удельные скорости растворения  $Ni_2S_3$  в широких диапазонах концентраций.

Из изученной зависимости был выбран диапазон факторов для построения математической модели от влияющих параметров. Для гидролитического и окислительного растворения хизлевудита выбран диапазон концентрации азотной кислоты от 0,003 г-экв/л до 0,03 г-экв/л, температура от 273<sup>0</sup>К до 323<sup>0</sup>К при скорости вращения диска от 1,6 с<sup>-1</sup> до 10 с<sup>-1</sup>.

*Список литературы:*

1. Пичугина А. И., Луцик В. И., Большаков Е. С., Чурсанов Ю. В. Высокотемпературный синтез хизлевудита // Химическая термодинамика и кинетика: Сб. докл. V Международной научной конф. г. Великий Новгород, (25-29 мая 2015 г.). 2015. С. 169-170.
2. Луцик В. И., Соболев А. Е. Кинетика гидролитического и окислительного растворения сульфидов металлов. Тверь: ТГТУ, 2009. 140 с.
3. Луцик В. И., Соболев А. Е. Исследование кинетики процессов гидрохимического окисления сульфидных минералов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 6. С. 362-369.
4. Пичугина А. И., Луцик В. И., Горцевич С. Л. Кинетика растворения миллерита и хизлевудита в растворах азотной кислоты // Бюллетень науки и практики. 2016. №11 (12). С. 106-111.
5. Пичугина А. И., Луцик В. И., Епифанова Н. А. Кинетика гидролитического и окислительного растворения сульфида никеля (II) в кислой среде // Вестник Тверского государственного университета. Серия Химия. 2014. № 2. С. 82-88.

*References:*

1. Pichugina, A. I., Lutsik, V. I., Bol'shakov, E. S., & Chursanov, Yu. V. (2015). Vysokotemperaturnyi sintez khizlevudita. Khimicheskaya termodinamika i kinetika: Sb. dokl. V Mezhdunarodnoi nauchnoi konf. g. Velikii Novgorod, (25-29 maya 2015 g.). 169-170.
2. Lutsik, V. I., & Sobolev, A. E. (2009). Kinetika gidroliticheskogo i okislitel'nogo rastvoreniya sul'fidov metallov. Tver': TGTU, 140.
3. Lutsik, V. I., & Sobolev, A. E. (2007). Issledovanie kinetiki protsessov gidrokhimicheskogo okisleniya sul'fidnykh mineralov. *Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, (6). 362-369.
4. Pichugina, A., Gortsevich, S., & Lutsik, V. (2016). Kinetics of millerite and heazlewoodite dissolution in solutions of nitric acid. *Bulletin of Science and Practice*, (11), 106–111.
5. Pichugina, A. I., Lutsik, V. I., & Epifanova, N. I. (2014). The kinetics of hydrolytic and oxidative dissolution of nickel (II) sulphide in an acidic medium. *Bulletin of Tver state University. Series Chemistry*, (2). 82-88.

*Работа поступила  
в редакцию 25.11.2018 г.*

*Принята к публикации  
28.11.2018 г.*

*Ссылка для цитирования:*

Критова И. Г., Пичугина А. И. Влияние концентрации азотной кислоты на скорость растворения хизлевудита // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №12. С. 77-80. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/12-35> (дата обращения 15.12.2018).

*Cite as (APA):*

Kritova, I., & Pichugina, A. (2018). The influence of nitric acid concentration on the dissolution rate heazlewoodite. *Bulletin of Science and Practice*, 4(12), 77-80. (in Russian).