

УДК 546.59:66.011

КИНЕТИКА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ КРЕМНЕЗЕМА ГИДРОФТОРИДОМ АММОНИЯ ИЗ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ

© 2024 г. И. С. Медянкина*, Л. А. Пасечник

Институт химии твердого тела УрО РАН, Екатеринбург, Россия

** e-mail: lysira90@mail.ru*

Поступила в редакцию 03.11.2023 г.

После доработки 25.01.2024 г.

Принята к публикации 29.01.2024 г.

Отходы обогащения железной руды с высоким содержанием кремнезема (более 50% SiO_2) складываются в огромных количествах в отвалах, оказывая негативное влияние на экологию и экономику производства. В работе предложено гидрохимическое обескремнивание хвостов мокрой магнитной сепарации титаномагнетитов, обеспечивающее получение чистого аморфного кремнезема при переработке отходов с регенерацией реагента – гидрофторида аммония NH_4HF_2 . Выщелачиванием 10%-м раствором NH_4HF_2 в выбранных условиях степень извлечения SiO_2 достигала 45%. Анализ экспериментальных данных с применением ряда распространенных кинетических уравнений показал смешанный режим течения процесса выщелачивания кремнезема в интервале температур 313–363 К, для которого лимитирование химической реакции растворения SiO_2 одновременно сдерживается диффузионными процессами на границе раздела фаз. Обновление поверхности частиц сырья в модели “сжимающегося ядра” путем перемешивания для отвода продуктов протекающих реакций фторирования положительно сказывается на эффективности процесса.

Ключевые слова: техногенные отходы, железорудные хвосты обогащения, гидрофторид аммония, фторирование, выщелачивание, кремнезем

DOI: 10.31857/S0040357124010085, **EDN:** ZCQLVL

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение окружающей среды отходами металлургической промышленности является крупнейшей современной проблемой. Одним из масштабных и малоиспользуемых видов отходов горнодобывающей промышленности являются хвосты обогащения железной руды [1]. Хвостохранилища занимают огромные территории, а мелкодисперсные частицы отходов попадают в водоемы и уносятся ветром на значительные расстояния. Вследствие обеднения месторождений и увеличения объемов выпуска целевого продукта количество хвостов ежегодно растет [2]. Разработка новых месторождений также ведет к созданию отвалов пустой породы [3]. Ежегодно только на одном из крупнейших в России горнорудном предприятии – Качканарском горно-обогатительном комбинате, перерабатывающем титаномагнетиты Гусевгорского месторождения, складывается около 45 млн т отходов – хвостов мокрой магнитной сепарации (ХММС), содержащих оксиды кремния, железа, кальция, алюминия и другие компоненты. В ряде работ ХММС предлагаются для отсыпки дорог и запол-

нения отработанных карьеров [4], в строительной отрасли – для замены части песка в цементных смесях [5] и при производстве кирпичей [6], для разработки новых геополимерных материалов [7] и керамики [8]. Ведется поиск способов извлечения ценных микрокомпонентов, доизвлечения железа магнитными методами [9], отделения SiO_2 для создания молекулярных сит [10] и фотокатализаторов [11].

Высокое содержание SiO_2 наталкивает на применение ХММС в качестве альтернативного ресурса дефицитного высокочистого кварцевого песка [12] с получением аморфного кремнезема, для выделения которого рассматривается даже растительное сырье [13]. Высокой степени вскрытия различных кремнеземсодержащих минералов и отходов – латерита [14], монацита [15], лейкоксена [16], циркона [17], красного шлама [18] позволяет достигнуть спекание с активными фторидами аммония. Недавно для лейкоксенового концентрата [19] и полиметаллического шлака [20] предложено гидрохимическое обескремнивание. Несмотря на снижение температуры фторирования, активная диффузия ионов в жидкой

фазе также способствовала получению и разделению простых и комплексных фторидов. Основной задачей исследований является прогнозирование оптимальной работы химико-технологических систем с привлечением кинетических расчетов [21], что важно для интенсификации переработки сырья и полноты его использования. В этой связи целью настоящего исследования являлось изучение кинетики и механизма растворения кремнезема при выщелачивании ХММС раствором гидрофторида аммония.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

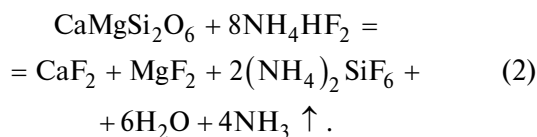
Объектом исследования были ХММС Качканарского ГОКа (Свердловская обл.) состава, %: 47.9 SiO₂; 19.5 CaO; 17.5 MgO; 6.8 Al₂O₃; 6.3 Fe общее, крупность – не более 2 мм [22]. Выщелачивание ХММС проводили раствором 10% NH₄HF₂ при Т: Ж = 100: 1 в области температур 313–363 К в течение 4 ч. Разделение фаз проводили фильтрованием. Содержание кремния определяли методом ИСП АЭС на спектрометре Elan 9000 (Perkin-Elmer, США) и помощью рентгеновского энергодисперсионного микроанализатора EDS IncaEnergy 250, совмещенного со сканирующим электронным микроскопом JSM-6390LA (JEOL, Япония). Выход кремнезема α(SiO₂, доли) рассчитывали по формуле (1):

$$\alpha(\text{SiO}_2) = \frac{C_2 m_2}{C_1 m_1}, \quad (1)$$

где C₁ и C₂ – содержание кремния (%) в исходном сырье и отфильтрованном остатке, m₁ и m₂ – их массы (г) соответственно.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее нами с достижением 98–99% обескремнивания ХММС были предложены предельные параметры: раствор с концентрацией 20% NH₄HF₂, продолжительность 5 ч, температура 363 К [22]. Взаимодействие основного минерала пироксена с гидрофторидом аммония NH₄HF₂ с извлечением в раствор кремния в виде фторидного комплекса и образованием нерастворимых фторидов кальция и магния описывается химической реакцией по уравнению (2):



Для изучения механизма с более медленным протеканием вскрытия минералов и с целью воз-

можного снижения расхода реагента в данном исследовании было решено снизить концентрацию реагента до 10% NH₄HF₂. Поскольку целью кинетического анализа термостимулированных процессов является установление математической зависимости между скоростью процесса, степенью извлечения и температурой [23], то для выщелачивания кремния из ХММС были получены кинетические кривые (рис. 1а). Как видно, процесс выщелачивания кремнезема более эффективно протекает с повышением температуры. Степень превращения α(SiO₂) резко изменяется в начальный момент выщелачивания до 1 ч и более плавно растет в последующем интервале времени 1–4 ч. При этом извлечение кремнезема раствором 10% NH₄HF₂ при 363 К за 4 ч не превысило 45%. Повышение температуры с 313 до 363 К увеличило выход с 13 до 32% в течение 1 ч с дальнейшим небольшим ростом. Поскольку реальные химические реакции осложнены побочными процессами, то наблюдается некоторый разброс экспериментальных точек от аппроксимирующих зависимостей, связывающих степень превращения вещества от времени и других условий (температура, концентрация).

Для определения лимитирующей стадии процесса зависимость между временем пребывания частиц в реакционном пространстве и степенью превращения необходимо представить в виде соответствующих уравнений, описывающих механизм взаимодействия. Для описания систем твердое тело–жидкость в большинстве случаев используется модель “сжимающегося ядра” [23]. Выщелачивание отдельного компонента сопровождается внешней диффузией реагента через слой инертного продукта (зола, пленки) на поверхности “ядра”; прохождение и диффузия реагента внутрь к непрореагировавшему веществу; поверхностная химическая реакция; диффузия одного продукта через слой другого продукта; диффузия продукта через пленку / золу в раствор [24]. В случае лимитирования химической реакции на поверхности частиц сферической формы используют уравнение Грея – Веддингтона (3):

$$1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{3}} = k\tau, \quad (3)$$

где α – степень превращения (извлечения кремнезема), доли; k – кажущаяся константа скорости, 1/с; τ – время, за которое реагирует вещество, с.

Рост толщины слоя инертного вещества или нерастворимого продукта (зола) вокруг частицы приводит к снижению возможности контакта реагирующего ядра с реагентом. В результате скорость процесса контролируется диффузией реагента через достаточно толстый слой инертного

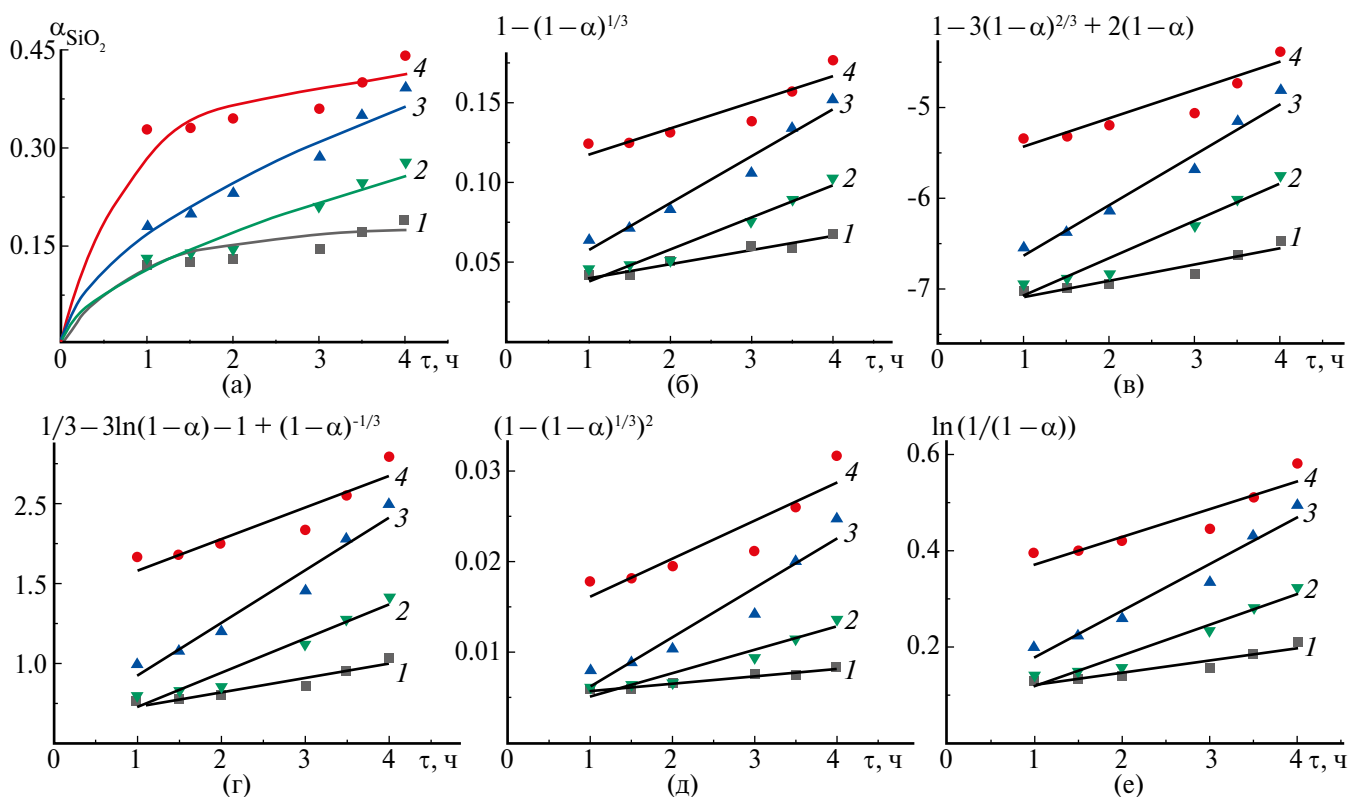


Рис. 1. Извлечение кремнезема $\alpha(\text{SiO}_2)$ из ХММС: кинетические кривые (а) и линейная аппроксимация кинетики в координатах уравнений (3)–(7) – (б)–(е) при температуре, К: 1–313, 2–323, 3–343, 4–363.

вещества, находящийся вокруг непрореагировавшего ядра, в соответствии с уравнением (4):

$$1 - 3(1 - \alpha)^{\frac{2}{3}} + 2(1 - \alpha) = k\tau. \quad (4)$$

Для описания одновременного влияния взаимодействия на границе раздела фаз и диффузии через слой золы / продукта авторами [25] предложено уравнение (5):

$$\frac{1}{3} - 3\ln(1 - \alpha) - 1 + (1 - \alpha)^{-\frac{1}{3}} = k\tau. \quad (5)$$

Диффузию реагента к ядру через слой продукта реакции на поверхности, когда толщина слоя продукта (золы) увеличивается во времени по параболическому закону, описывает уравнение Яндера (6):

$$(1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{3}})^2 = k\tau. \quad (6)$$

Для растворения с постоянной величиной диффузионного слоя либо в случае выщелачивания из достаточно плотного материала применимо уравнение первого порядка (7):

$$\ln\left(\frac{1}{1 - \alpha}\right) = k\tau. \quad (7)$$

Экспериментальные данные выщелачивания кремния в более продолжительном временном интервале 1–4 ч были линейаризованы в координатах

уравнений (3)–(7), и определены коэффициенты корреляции R^2 (рис. 1б–е, табл. 1). Сравнение R^2 показало, что процесс лимитируется химическим взаимодействием на поверхности твердой частицы с уменьшением ее размера и лучше описывается уравнением (3) Грея – Веддингтона. В то же время близость R^2 линейных анаморфоз кинетических кривых указывает влияние диффузионных затруднений на выщелачивание кремнезема с ростом толщины слоя инертного продукта, препятствующего проникновению реагента внутрь частицы (рис. 2). Действительно, вначале реакция идет на поверхности и только по мере развития проникает внутрь ядра. Таким образом, первично кинетика определяется скоростью химической реакции, а постепенный рост

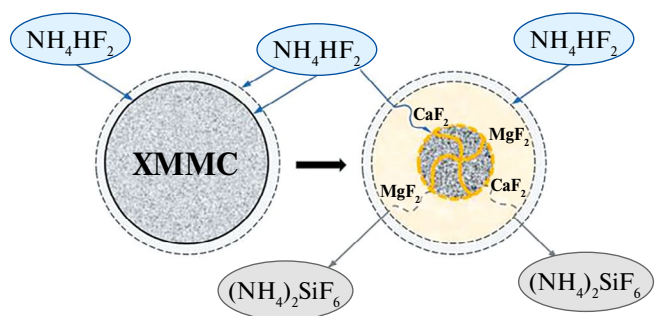


Рис. 2. Модель “сжимающегося ядра” для выщелачивания SiO_2 из ХММС.

Таблица 1. Коэффициенты корреляции (R^2) модельных уравнений (3)–(7) для процесса выщелачивания кремнезема из ХММС

T, K	$1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{3}}$ (3)	$1 - 3(1 - \alpha)^{\frac{2}{3}} + 2(1 - \alpha)$ (4)	$\frac{1}{3} - 3\ln(1 - \alpha) - 1 + (1 - \alpha)^{-\frac{1}{3}}$ (5)	$(1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{3}})^2$ (6)	$\ln\left(\frac{1}{1 - \alpha}\right)$ (7)
313	0.955	0.934	0.933	0.962	0.933
323	0.960	0.964	0.957	0.915	0.958
343	0.976	0.980	0.973	0.926	0.973
363	0.841	0.826	0.849	0.876	0.848

диффузионного слоя инертных продуктов (фторидов кальция и магния из ХММС), через который в одном направлении диффундирует жидкий реагент, а в противоположном направлении – жидкие и газообразные растворимые продукты реакции, сказывается на скорости процесса в дальнейшем. Как было установлено ранее [22], образование фторидов CaF_2 и MgF_2 происходит уже при комнатной температуре при смешивании сухих компонентов.

Угловые коэффициенты прямых в координатах уравнений (3) и (5) (рис. 1б, г), численно равные кажущимся температурным константам скорости $k^{(3)}$ и $k^{(5)}$, приведены в табл. 2 и использованы для расчета кажущейся энергии активации E_a (кДж/моль) по уравнению Аррениуса (8):

$$k = A \exp \frac{-E_a}{RT}, \quad (8)$$

где R – универсальная газовая постоянная, 8.314 Дж/(моль К); T – температура, К; A – предэкспоненциальный множитель.

Зависимости процесса растворения кремнезема из ХММС в интервале температур 313–363 К в координатах уравнения Аррениуса $\ln k$ от $1/T \times 10^{-3}$ представлены на рис. 3. Угол наклона кривых соответствует энергии активации E_a равной 16.1 кДж/моль для $k^{(3)}$ из уравнения (3) и 17.9 кДж/моль для $k^{(5)}$ из уравнения (5) (табл. 2).

Следует отметить, что рассчитанные значения E_a и характер растворения кремнезема из ХММС при выбранных условиях близки к результатам, полученным для растворения в растворах NH_4F при температурах 333–363 К реактива кремнезе-

ма SiO_2 “ч. д. а.” с величиной $E_a = 18.9$ кДж/моль и кремнегеля с $E_a = 23.0$ кДж/моль [26]. Автором также было установлено, что лимитирующей стадией, определяющей кинетику растворения, является химическое взаимодействие, что подтверждалось отсутствием функциональной связи между скоростью растворения SiO_2 и гидродинамикой процесса.

Таким образом, влияние концентрации NH_4HF_2 при выщелачивании на скорость извлечения кремнезема при температуре 363 К нами рассмотрено с учетом лимитирования химической реакции по уравнению (3) и суммарного вклада химического взаимодействия и диффузионных процессов по уравнению (5). На основании данных о концентрации NH_4HF_2 и полученных констант скорости построены зависимости $\ln k$ от $\ln[\text{NH}_4\text{HF}_2]$ (рис. 4), по углу наклона которых определяли порядок реакции n .

Расчетом получены близкие дробные величины $n^{(3)} = 0.41$ и $n^{(5)} = 0.37$ для констант из уравнений (3) и (5) соответственно, что подтверждает смешанный механизм выщелачивания кремнезема из ХММС, а также одновременное протекание нескольких стадий реакции, слабо отличающихся друг от друга по скорости.

Несомненно, выщелачивание многокомпонентного сырья приводит к появлению сопряженных взаимодействий и побочных реакций, которые усложняют течение целевого процесса. В целом, близкие значения R^2 линеаризованных кинетических уравнений и малая величина E_a доказывают значимый вклад диффузионных механизмов реагирования, которые характеризуют-

Таблица 2. Параметры извлечения кремнезема раствором 10% NH_4HF_2 из ХММС

T, K	$1/T \times 10^{-3}$	$k^{(3)}, 1/c$	$k^{(5)}, 1/c$	$-\ln k^{(3)}$	$-\ln k^{(5)}$	$E_a^{(3)},$ кДж/моль	$E_a^{(5)},$ кДж/моль
313	3.19	2.48×10^{-6}	2.76×10^{-5}	12.94	10.50	16.1	17.9
323	3.10	5.25×10^{-6}	5.68×10^{-5}	12.10	9.78		
343	2.92	8.22×10^{-6}	8.48×10^{-5}	11.71	9.38		
363	2.75	6.06×10^{-6}	5.93×10^{-5}	11.60	9.73		

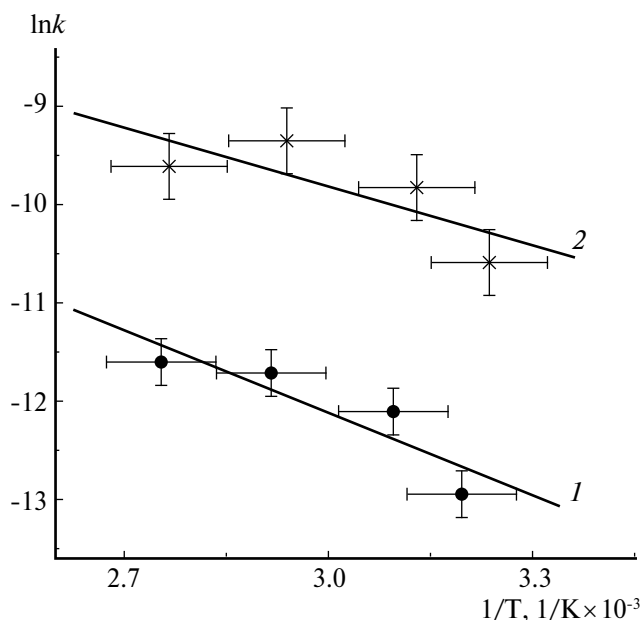


Рис. 3. Зависимости $\ln k$ от $1/T \times 10^{-3}$ для выщелачивания кремнезема из ХММС раствором 10% NH_4HF_2 : 1 — для $k^{(3)}$; 2 — для $k^{(5)}$.

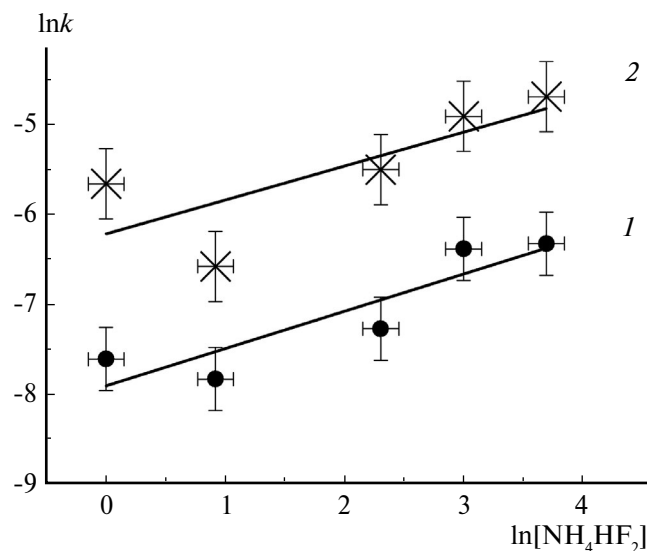


Рис. 4. Зависимости $\ln k$ от $\ln[\text{NH}_4\text{HF}_2]$ при температуре 363 К: 1 — для $k^{(3)}$; 2 — для $k^{(5)}$.

ся наличием различий концентраций реагента в объеме и на поверхности частицы. В этом случае для ускорения гетерогенно-химической реакции, действительно, необходимо обновление поверхности путем перемешивания, в т. ч. и для отвода продуктов других одновременно протекающих реакций (образования частиц нерастворимых фторидов). Таким образом, скорость суммарного процесса растворения кремнезема зависит как от скорости химической реакции, так и диффузии реагирующих веществ [23]. При низких температурах (менее 353–363 К) образующийся плотный

слой золы существенно снижает выход кремнезема из “ядра” в раствор. Таким образом, для интенсификации процесса необходимо вести выщелачивание при температуре 363–368 К, увеличить концентрацию реагента и обеспечить снятие тормозящего слоя для обновления поверхности реагирующих частиц, проводя реакцию, например, во вращающихся или ультразвуковых аппаратах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучена кинетика извлечения кремнезема при выщелачивании хвостов мокрой магнитной сепарации раствором гидрофторида аммония. Установлено, что режим протекания гетерогенной реакции при выбранных температурах является смешанным и во временном интервале (1–4 ч) в рамках модели “сжимающегося ядра” описывается уравнением, учитывающим одновременное влияние взаимодействия на границе раздела фаз и диффузии. В начальный момент времени лимитирующей является стадия химической реакции, поэтому повышение температуры резко ускоряет процесс. Постепенное увеличение слоя инертных продуктов побочных реакций, через который диффундируют новые порции реагента, а в противоположном направлении — растворенное вещество, переводит процесс в диффузионную область. Полученные кинетические параметры и области реагирования позволили обосновать пути интенсификации процесса для достижения более полной переработки сырья при извлечении кремнезема из хвостов мокрой магнитной сепарации титаномагнетитов для последующего получения экономического эффекта в химической технологии в целом.

Работа выполнена в соответствии с государственным заданием и планами НИР ИХТТ УрО РАН (№ 124020600007–8).

ОБОЗНАЧЕНИЯ

T	температура, К
τ	время, ч
α	степень превращения (извлечения кремнезема), доли
C_1	содержание кремния в исходном сырье, %
C_2	содержание кремния в остатке, %
m_1	масса кремния в исходном сырье, г
m_2	масса кремния в остатке, г
E_a	кажущаяся энергия активации, кДж/моль
R	универсальная газовая постоянная, Дж/(моль К)
k	кажущаяся константа скорости, 1/с

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Meshalkin V.P., Bobkov V.I., Dli M.I., Fedulov A.S., Shinkevich A.I. Computer-assisted decision-making system of optimal control over the energy and resource efficiency of a chemical energotechnological system for processing apatite–nepheline ore wastes // Theor. Found. Chem. Eng. 2021. V. 55. № 1. P. 62 [Мешалкин В.П., Бобков В.И., Дли М.И., Федулов А.С., Шинкевич А.И. Компьютеризированная система принятия решений по оптимальному управлению энергоресурсоэффективностью химико-энерготехнологической системы переработки отходов апатит-нефелиновых руд // Теорет. основы хим. технологии. 2021. Т. 55. № 1. С. 67].
2. Kinnunen P.H.M., Kaksonen A.H. Towards circular economy in mining: Opportunities and bottlenecks for tailings valorization // J. Clean. Prod. 2019. V. 228. P. 153.
3. Li Y., Li S., Zhao X., Pan X., Guo P. Separation and purification of high-purity quartz from high-silicon iron ore tailing: An innovative strategy for comprehensive utilization of tailings resources // Process Saf. Environ. Prot. 2023. V. 169. P. 142.
4. Fall M., Celestin J.C., Pokharel M., Toure M. A contribution to understanding the effects of curing temperature on the mechanical properties of mine cemented tailings backfill // Eng. Geol. 2010. V. 114. № 3. P. 397.
5. Young G., Yang M. Preparation and characterization of Portland cement clinker from iron ore tailings // Constr. Build. Mater. 2019. V. 197. P. 152.
6. Li W.S., Lei G.Y., Xu Y., Huang Q.F. The properties and formation mechanisms of eco-friendly brick building materials fabricated from low – silicon iron ore tailings // J. Clean Prod. 2018. V. 204. P. 685.
7. Borges P.H.R., Ramos F.C.R., Caetano T.R., Panzerira T.H., Santos H. Reuse of iron ore tailings in the production of geopolymer mortars // Rev. Esc. Minas. 2019. V. 72. P. 581.
8. Silva F.L., Araujo F.G.S., Teixeira M.P., Gomes R.C., Kruger F.L. Study of the recovery and recycling of tailings from the concentration of iron ore for the production of ceramic // Ceram. Int. 2014. V. 40. № 10. P. 16085.
9. Zhang X., Han Y., Sun Y., Lv Y., Li Y., Tang Z. A novel method for iron recovery from iron ore tailings with pre-concentration followed by magnetization roasting and magnetic separation // Miner. Process. Extr. Metall. Rev. 2020. V. 41. № 2. P. 117.
10. Yang G., Deng Y., Wang J. Non-hydrothermal synthesis and characterization of MCM-41 mesoporous materials from iron ore tailing // Ceram. Int. 2014. V. 40. № 5. P. 7401.
11. Svetlakova K.I., Medianskaya I.S., Pasechnik L.A., Buldakova L. Yu., Yanchenko M. Yu. Synthesis and photocatalytic activity of the Co-containing materials based on amorphous SiO₂ // Mendeleev Commun. 2023. V. 33. № 2. P. 269.
12. Li Y., Li S., Zhao X., Pan X., Guo P. Separation and purification of high-purity quartz from high-silicon iron ore tailing: An innovative strategy for comprehensive utilization of tailings resources // Process Saf. Environ. Prot. 2023. V. 169. P. 142.
13. Щербакова Т.И., Васенева И.Н. Способ получения биогенного кремнезема // Теорет. основы хим. технологии. 2020. Т. 54. № 2. С. 185. [Shcherbakova T.P., Vaseneva I.N. A Biogenic Silica Synthesis Method // Theor. Found. Chem. Eng. 2020. V. 54. № 2. P. 297.]
14. Li G.H., Rao M.J., Li Q., Peng Z.W., Jiang T. Extraction of cobalt from laterite ores by citric acid in presence of ammonium bifluoride // Trans. Nonferrous Met. Soc. Chin. 2010. V. 20. P. 1517.
15. Kemp D., Cilliers A.C. Fluorination of rare earth, thorium, and uranium oxides and phosphates from monazite: a theoretical approach // Adv. Mater. Res. 2014. V. 1019. P. 439.
16. Smorokov A., Kantaev A., Bryankin D., Miklashevich A., Kamarou M., Romanovski V. A novel low-energy approach to leucoxene concentrate desilicization by ammonium bifluoride solutions // J. Chem. Technol. Biotechnol. 2023. V. 98. № 36. P. 726.
17. Laptash N., Maslennikova I. Hydrofluoride decomposition of natural materials including zirconium-containing minerals // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2016. V. 112. P. 012024.
18. Медянкина И.С., Пасечник Л.А., Сабирзянов Н.А. Особенности фторирования гематита в составе красного шлама // Перспективные материалы. 2016. № 4. С. 67.
19. Smorokov A., Kantaev A., Bryankin D., Miklashevich A., Kamarou M., Romanovski V. A novel low-energy approach to leucoxene concentrate desilicization by ammonium bifluoride solutions // J. Chem. Technol. Biotechnol. 2023. V. 98. № 3. P. 726.
20. Andreev A.A., Diachenko A.N. Conditions for the production of pigmentary titanium dioxide of rutile and anatase modifications by ilmenite processing with ammonium fluoride // Theor. Found. Chem. Eng. 2009. V. 43. № 1. P. 707.
21. Островский Г.М., Лантева Т.В., Зиятдинов Н.Н. Проектирование оптимальных химико-технологических систем в условиях неопределенности // Теорет. основы хим. технологии. 2014. Т. 48. № 5. С. 527. [Ostrovsky G.M., Lapteva T.V., Ziyatdinov N.N. Optimal design of chemical processes under uncertainty // Theor. Found. Chem. Eng. 2014. V. 48. № 5. P. 583.]
22. Medyankina I.S., Pasechnik L.A. Hydrofluoride processing of tailings from wet magnetic separation of titanomagnetite to obtain amorphous silicon dioxide // ChemChemTech. 2023. V. 66. № 2. P. 70.
23. Levenspiel O. Chemical Reaction Engineering. NY: John Wiley & Sons Inc., 1999.
24. Liu Z.X., Yin Z.L., Xiong S.F., Chen Y.G., Chen Q.Y. Leaching and kinetic modeling of calcareous bornite in ammonia ammonium sulfate solution with sodium persulfate // Hydrometallurgy. 2014. V. 144–145. P. 86.
25. Dickinson C.F., Heal G.R. Solid–liquid diffusion controlled rate equations // Thermochim. Acta. 1999. V. 340–341. P. 89.
26. Мурашев А.Н. Исследование и разработка способа получения белой сажи из кремнезема. Дис. ... канд. хим. наук. Минск: Белорусский технол. ин-т им. С.М. Кирова, 1978.