

DOI: 10.15593/2224-9400/2019.4.11

УДК 66.088

**Т.Ю. Еранская**Институт геологии и природопользования ДВО РАН,  
Благовещенск, Россия**КИСЛОТНЫЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ  
ОБОЖЖЕННОГО КАОЛИНА**

*В условиях дефицита бокситового сырья для производства алюминия альтернативными источниками могут служить другие глиноземсодержащие породы, с разным соотношением каолинита и кремнезема. Например, нефелины, гнейсы, анортозиты, каолины и др. Глинозем из этих пород получают щелочными или кислотными методами, которые имеют свои преимущества и недостатки. Для сырья, содержащего значительное количество кремнезема, наиболее приемлема кислотная технология. Из всего перечня глиноземсодержащей породы для экспериментов выбраны каолины как наиболее распространенные. В исследуемых образцах соотношение кремнезема к глинозему составляет 1,54 (кремниевый модуль  $\mu_{Si} = 0,65$ ).*

*В статье описан инновационный метод переработки каолинового концентрата путем кавитационного разложения породы на алюминатную и силикатную составляющие с получением гидроксида алюминия как промежуточного продукта при производстве глинозема.*

*В реакторных технологиях, применяемых для разложения каолинов, процесс идет при высоком давлении и температуре. Под действием кавитации высокая температура и высокое давление в пульпе создаются за счет самого эффекта кавитации, происходит разрушение структуры каолинита при активном ее перемешивании. Все это в комплексе является катализатором процесса химического разложения.*

*Опыты проводились в ультразвуковой установке погружным методом при мощности аппарата 1000 В·А. В работе представлены результаты экспериментов по влиянию кавитационной обработки на процесс разложения необожженного и обожженного каолинового концентрата в растворе азотной кислоты. Результаты, полученные для обожженного каолина, значительно выше, чем для необожженного. Определены зависимости количества получаемого гидроксида алюминия из обожженного каолина от времени кавитационного воздействия, температуры обжига, концентрации раствора. Максимальный выход гидроксида алюминия составил 91,44 % от стехиометрической нормы.*

**Ключевые слова:** ультразвуковая кавитация, азотная кислота, кислотное разложение, обжиг, каолин, метакаолинит, гидроксид алюминия.

## T.Yu. Eranskaya

Institute of Geology and Nature Management, FEB RAS, Blagoveshchensk,  
Russian Federation

### ACID TREATMENT METHOD OF BURNT KAOLIN

*In conditions of shortage of bauxite raw materials for the production of aluminum, alternative sources may be other alumina-containing rocks with different ratios of kaolinite and silica. For example, nephelins, gneisses, anorthosites, kaolins, etc. Alumina from these rocks is obtained by alkaline or acidic methods, which have their advantages and disadvantages. For raw materials containing a significant amount of silica, the most acceptable acid technology. From the entire list of alumina containing rocks for experiments selected kaolins as the most common. In the studied samples, the ratio of silica to alumina is 1.54 (silicon modulus  $\mu_{si} = 0.65$ ).*

*The article describes an innovative method of processing kaolin concentrate by cavitation decomposition of rock into aluminate and silicate components to obtain aluminum hydroxide as an intermediate product in the production of alumina.*

*In reactor technologies used to decompose kaolins, the process takes place at high pressure and temperature. Under the influence of cavitation, high temperature and high pressure in the pulp are created due to the cavitation effect itself, the structure of kaolinite is destroyed when it is actively stirred. All this in the complex is a catalyst for the process of chemical decomposition.*

*The experiments were carried out in an ultrasonic installation by submersible method at a power of 1000 VA. The paper presents the results of experiments on the effect of cavitation treatment on the decomposition of unbaked and burnt kaolin concentrate in nitric acid solution. The results obtained for burnt kaolin are significantly higher than for unburned kaolin. The dependences of the amount of aluminum hydroxide obtained from the annealed kaolin on the time of cavitation action, the firing temperature, and the concentration of the solution were determined. The maximum yield of aluminum hydroxide was 91.44 % of the stoichiometric norm.*

**Keywords:** *ultrasonic cavitation, nitric acid, acid decomposition, roasting, kaolin, metacaolinite, aluminum hydroxide.*

Российская Федерация является мировым лидером в производстве алюминия. Но более 50 % исходного сырья вынуждена завозить из-за границы. Это, с одной стороны, влияет на стоимость продукции, с другой, ставит в зависимость сырьевую безопасность от зарубежных поставщиков. Поэтому необходимо находить собственные, альтернативные источники алюминиевого сырья на территории страны.

Такой альтернативой традиционному бокситовому сырью могли бы стать широко распространенные каолиновые породы с высоким или средним содержанием по алюминию. Активное использование каолинов в производстве глинозема тормозится вследствие значительного

количества оксида кремния в породе и низкой способности к разложению молекулы каолинита на алюминатную и силикатную составляющие.

Эти вопросы решаются с использованием современных технологий, например, путем автоклавного щелочного или кислотного разложения каолинита с последующим удалением кремниевой составляющей. Некоторые из них дают высокий процент выхода готового продукта.

Известно [1], что для переработки каолинов и другого алюмосиликатного сырья, содержащего большое количество кремнезема наиболее приемлема кислотная технология. В качестве реагентов применяют серную, сернистую, соляную или азотную кислоты. Все алюминатные минералы способны к разложению в кислотах с разной скоростью. При работе с каолином наиболее приемлемым является азотнокислый способ. Скорость разложения каолинов в этой группе средняя [2].

Процесс получения глинозема укрупненно состоит из трех стадий. На первой выполняют разложение каолинового концентрата в растворе кислоты на алюминатную и силикатную части с переводом алюминатной части в раствор. На второй стадии путем разложения раствора аммиаком осаждают гидроксид алюминия (ГА) в гелеобразной форме. Далее высушенный гель одним из известных методов переводят в глинозем.

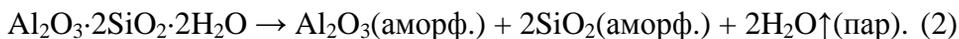
Первая стадия – разложение каолинита в азотной кислоте – происходит по реакции [2]



При нормальной температуре эта реакция идет медленно и не до конца, а при температуре 90–95 °С разлагается примерно 10 % [2] каолинита от стехиометрии. При этой же температуре из предварительно обожженного каолинита (650–700 °С) при концентрации кислоты 30–45 % разлагается уже 92–93 %.

Обожженные каолиниты разлагаются более полно за счет удаления химически связанной воды и разрушения кристаллической решетки каолинита [1]. Чем выше температура обжига, тем выше степень обезвоживания сырья. Этот процесс происходит в интервале от 500 до 800 °С.

В результате обжига образуется смесь аморфных оксидов алюминия и кремния:



Данную химическую реакцию можно записать в виде уравнения [3]



Аморфное вещество, полученное в результате обжига, является метакаолинитом, который имеет высокую реакционную способность. Оптимальная температура обжига для максимальной степени перехода глинозема в раствор 700–750 °С.

Взаимодействие метакаолинита с кислотой происходит по уравнению



При разложении метакаолинита алюминатная составляющая в виде азотнокислого алюминия переходит в раствор, а силикатная с кислотой не реагирует и выпадает в осадок. Часть метакаолинита, свободный оксид кремния и другие компоненты из состава каолинового концентрата также не реагируют с кислотой и выпадают в осадок. В дальнейшем работы проводят с полученным раствором. Его вместе с промывной водой упаривают до определенной концентрации.

Химическое взаимодействие азотнокислого алюминия с раствором аммиака во второй части процесса осуществляется по уравнению



В осадок выпадает гелеобразное вещество, состав которого соответствует гидраргиллиту. Гидраргиллит представляет собой первичные частицы псевдокристаллического вещества, которые в последующем при удалении влаги формируются в кристаллическую структуру. Вещество представляет собой одну из гидратированных форм оксида алюминия, которое переводят в глинозем одним из известных методов.

Теоретические основы взаимодействия алюминатных минералов с кислотами хорошо описаны Ю.А. Лайнером [2]. Эта последовательность переделов взята за основу химических процессов при разработке нового альтернативного известным метода переработки каолинового сырья на ГА – метода ультразвукового кавитационного разложения каолина в азотнокислом растворе.

Если в реакторных технологиях, которые применяют для разложения каолинов, процесс идет при высоком давлении и температуре, то в кавитируемой среде такие условия создаются за счет самого эф-

фекта кавитации. Из теории кавитации известно, что в зоне схлопывания кавитационного пузырька эти параметры, как правило, достигают критических для данной жидкости показателей. А за счет микроперемешивания от схлопывания множества пузырьков происходит интенсивное движение жидкости, которое в совокупности с высокой температурой и давлением должно являться катализатором химического процесса.

В соответствии с теорией минералы под действием кавитации диспергируются, разрушаясь по микротрещинам, границам зерен. А чем больше площадь поверхности, тем выше скорость химических реакций. У каолинита же структура пластинчатая. Под действием кавитации должно происходить ее разрушение вплоть до двухслойного минимального состояния, дробление пластин на мелкие фрагменты. Тем самым увеличивается поверхность взаимодействия, а также появляются незаполненные концевые связи, образование новых структур за счет смещений, разворотов, образования новых более выгодных сочетаний слоев.

На этой теоретической базе и предположениях о действии кавитации на каолин основана лабораторная технология кислотной переработки каолинового концентрата на ГА. Одним из преимуществ данного метода, в отличие от реакторного, является сокращение времени операции разложения с нескольких часов (или нескольких суток) [4] до 1 ч и менее. В настоящей работе приведены некоторые результаты исследований.

Ранее кавитационный метод переработки каолина на ГА был применен в опытах по щелочной технологии, где реагентом при разложении являлся NaOH. За основу была взята автоклавная технология получения глинозема из бокситовых руд. По этой же методике проведены эксперименты на установке по электроискровому типу воздействия на каолины в щелочном растворе, где электроискровой разряд между двумя электродами, проходя через раствор, создает вокруг себя ионизированную зону, сопровождающуюся образованием кавитационной оболочки. Выполнена серия экспериментов по кавитации необожженного каолина в растворе азотной кислоты. Во всех случаях получены относительно низкие результаты. Материалы опубликованы в работах [5–14].

*Цель исследований* состоит в том, чтобы экспериментально проверить теоретические предположения о влиянии ультразвуковой кави-

тации, как активатора процесса, на увеличение выхода ГА при азотно-кислотной обработке обожженного каолинового концентрата.

*Задача настоящих исследований* – определение степени влияния ультразвуковой кавитации на выход ГА при разных температурах обжига каолина, времени обработки, содержания реагента в рабочем растворе.

*Основная задача исследований* состоит в подтверждении тезиса, выдвинутого автором, об эффективности кавитационного разложения каолинового концентрата в азотнокислом растворе не ниже уровня в традиционных технологиях.

Исследования направлены на определение оптимальных параметров процесса, позволяющих наиболее полно разложить каолиновый концентрат на составляющие при ультразвуковой обработке.

*Новизна метода.* Примеров использования кавитации при разложении каолиновых концентратов в литературных источниках нет. Поэтому на основе собственного опыта работы по щелочной технологии и теории разложения обожженного каолина в растворе азотной кислоты было предположено, что кавитационное воздействие на данный процесс будет катализирующим фактором, способствующим более высокому выходу ГА, в сравнении с другими условиями обработки.

**Экспериментальная часть.** Принципиальная схема процесса, общий подход к исследованиям и основные технологические моменты взяты за основу из монографии [2].

Эксперимент состоит из следующих основных этапов: обжиг каолинового концентрата при различных температурах; разложение обожженного концентрата в растворе азотной кислоты в кавитационной установке; фильтрация полученного раствора и промывка непрореагировавшего осадка; упаривание раствора и промывной воды; разложение упаренного раствора водным аммиаком; фильтрация, промывка и сушка гелеобразного осадка. Конечным продуктом в ходе исследований является ГА, а не глинозем. Этого достаточно для оценки влияния кавитации на разложение каолинита в растворе кислоты.

В экспериментах использовался каолиновый концентрат, получаемый после первичного обогащения каолин-полевошпатовых песков Чалганского месторождения (Амурская область). Концентрат состоит из свободной окиси кремния, каолинита и калиевого ортоклаза, а также других соединений в качестве примесей. В табл. 1 приведен оксидный состав этого концентрата.

Таблица 1

Оксидный состав исходного каолинового концентрата, %

Оксид	Содержание	Оксид	Содержание
SiO <sub>2</sub>	50,44	MgO	0,24
TiO <sub>2</sub>	0,41	Na <sub>2</sub> O	0,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32,83	K <sub>2</sub> O	1,45
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,46	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02
MnO	0,01	Loi()	12,42
CaO	0,36	Сумма	99,84

Опыты проводились как с исходным каолиновым концентратом, так и с каолином, подвергнутым обжигу. Обжиг каолина выполнялся в муфельной печи в течение 1 и 3 ч при температурах от 500 до 900 °С с шагом 50 °С. Охлаждение образцов вместе с печью.

Кавитация выполнялась в установке (рис. 1), созданной на базе ультразвукового аппарата «Феникс», перенастроенного на погружной способ кавитации. Потребляемая мощность аппарата 1000 В·А, частота механических колебаний 20±2 кГц, принцип преобразования электрических колебаний – пьезоэффект.

Эксперимент проводился для растворов объемом 1000, 800, 500 мл с различной концентрацией азотной кислоты при 100%-ной мощности аппарата. Навески каолина 10 и 20 г. В стакан с образцом, помещенный на рабочий столик установки, опускали рабочий инструмент ультразвукового аппарата, на генераторе устанавливали заданное время работы. Сразу после выхода аппарата на рабочий режим кавитации происходило измельчение (диспергация) образца и химическое взаимодействие с раствором. Время обработки – от нескольких минут до полутора часов. Полученный алюмосиликатный раствор отфильтровывался от непрореагировавшего осадка и вместе с промывной водой упаривался на песчаной ванне до объема 300–350 мл.

Во второй части эксперимента в этот раствор при температуре 70±5 °С вводился холодный раствор аммиака. Его количество определя-

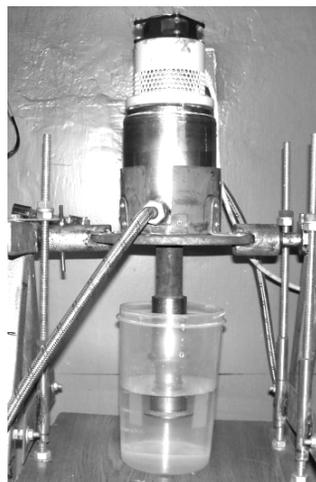


Рис. 1. Экспериментальная установка для кавитационной обработки минерального сырья

лось экспериментально, до полной нейтрализации раствора или с небольшим переходом в сторону щелочности – до pH 6–7. Образующийся гелеобразный осадок бесцветный или желтоватого оттенка, состоящий из хлопьев или шариков, при «старении» приобретает вид плотной однородной массы. Его промывали, отфильтровывали и сушили при температуре 60–70 °С. После истирания в ступке вещество имеет вид мелкокристаллического порошка белого или желтоватого цвета.

Анализы полученных образцов выполнены рентгенофазовым методом на рентгеновском дифрактометре Maxima XRD-700 ( $\text{Cu}_{\text{K}\alpha}$ -излучении  $\lambda = 1,54060 \text{ \AA}$ ) и рентгенофлуоресцентным методом по методике с прокаливанием образцов с использованием серии стандартных образцов.

### Результаты и их обсуждение.

**Обжиг каолина.** В табл. 2 представлены результаты рентгенофлуоресцентного анализа образцов каолина после обжига в течение 3 ч при температурах 600, 700 и 800 °С. В результате обжига произошло удаление внутрикристаллитной воды, а соотношение глинозема к кремнезему практически не изменилось по сравнению с исходным каолином (см. табл. 1). Не изменилось также содержание оксидов почти всех примесей по отношению к глинозему и кремнезему.

Таблица 2

Оксидный состав обожженного каолина, %

Оксид	Температура обжига, °С		
	600	700	800
SiO <sub>2</sub>	56,42	55,75	57,15
TiO <sub>2</sub>	0,46	0,48	0,46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37,20	38,46	37,35
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,65	1,69	1,66
MnO	0,01	0,01	0,01
CaO	0,41	0,42	0,41
MgO	0,20	0,26	0,20
Na <sub>2</sub> O	0,18	0,19	0,19
K <sub>2</sub> O	1,63	1,66	1,62
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,03	0,02
Loi()	1,60	0,79	0,70
Сумма	99,78	99,74	99,77

На рис. 2 приведены результаты рентгенофазового анализа этих образцов в сравнении с исходным каолиновым концентратом.

Рентгенограммы обожженного концентрата для всех температур имеют одинаковый вид, так как весь каолинит перешел в аморфное состояние и представляет собой метакаолинит, а пики принадлежат свободному  $\text{SiO}_2$  и ортоклазу, которые в этом температурном интервале не разлагаются.

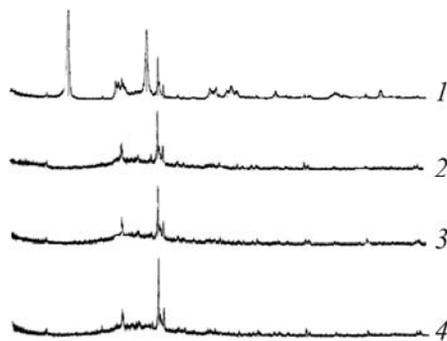


Рис. 2. Рентгенограммы образцов: 1 – исходный каолин; 2, 3, 4 – каолин после обжига соответственно при 600, 700, 800 °С

#### **Кавитационное разложение каолинового концентрата.**

По данным литературных источников, в азотнокислотных автоклавных технологиях рекомендуется применять концентрации кислоты от 30 до 45 % при дозировке 125–135 % [2] от стехиометрии и при 130%-ной концентрации кислоты и температуре выщелачивания 150 °С в течение 5 ч [15]. Растворы, которые использовались в настоящих экспериментах, имели концентрацию кислоты от 3 до 40 %. Температура в объеме пульпы составляла от 87 до 99 °С.

На рис. 3 приведены графики выхода готового продукта в зависимости от температуры предварительного обжига, времени кавитационной обработки и содержания азотной кислоты в растворе.

На рис. 3, а видно, что наибольший выход готового продукта получен для каолинового концентрата, прошедшего обжиг при температурах 700–750 °С.

С повышением концентрации раствора растет выход продукта (рис. 3, в). Но вследствие того, что по условиям работы ультразвукового аппарата необходимо иметь объем жидкости не менее 300 мл, с повышением концентрации раствора значительно вырастает перерасход ингредиента. Так, при кислотности 40 % содержание кислоты превышает стехиометрическую норму в 14 раз. Поэтому в большинстве экспериментов максимальная концентрация растворов составляла от 3,5 до 20 %.

От времени кавитационной обработки зависит эффективность процесса разложения. На рис. 3, б показана зависимость выхода готового продукта от этого параметра. Процент выхода растет по прямой

зависимости вплоть до 60 мин, затем плавно повышается и после 65–67 мин работы снижается.

Максимальный выход продукта в данной серии экспериментов составил 91,44 % от стехиометрически возможного.

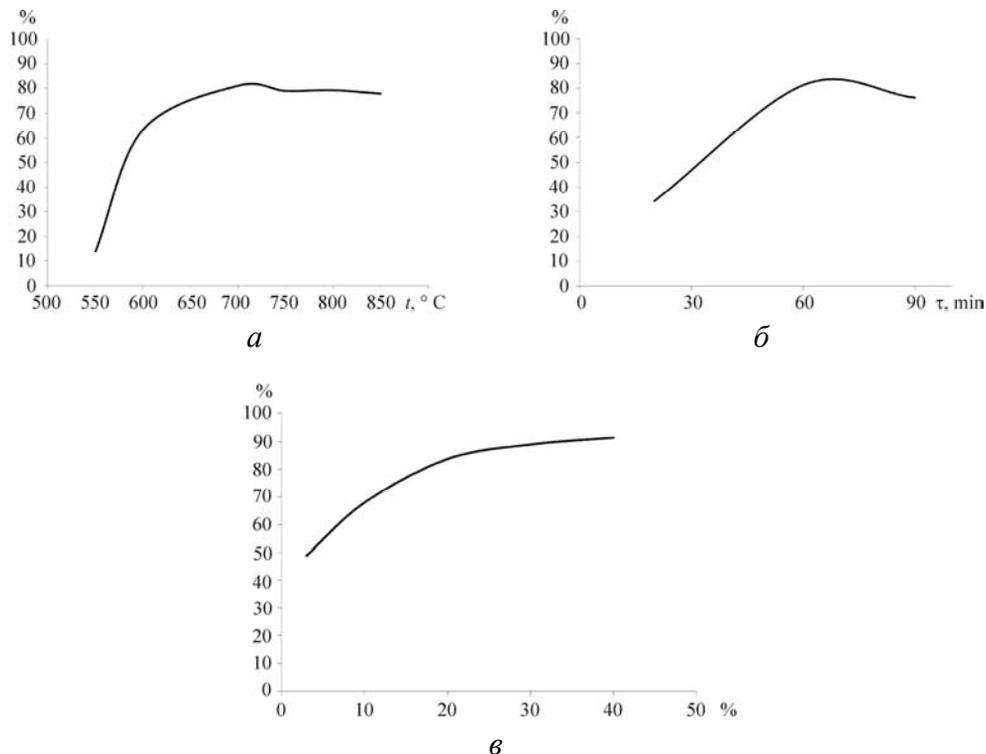


Рис. 3. Зависимость выхода гидроксида алюминия (в процентах от стехиометрии): *a* – от температуры обжига концентрата; *б* – от времени кавитации; *в* – от кислотности раствора

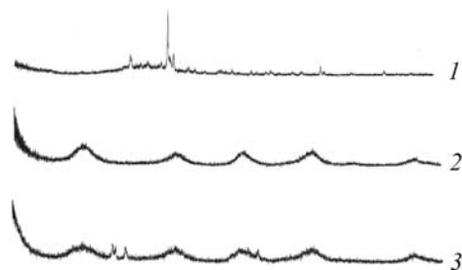


Рис. 4. Рентгенограммы: 1 – непро-реагировавшего осадка; 2 – AlOOH; 3 – смесь Al(OH)<sub>3</sub> и AlOOH

На рис. 4 приведены рентгенограммы для ГА, полученных в результате кавитации в растворах азотной кислоты при концентрации выше 20 % (рис. 4, кривая 2) и ниже 20 % (рис. 4, кривая 3). В первом случае вещество соответствует AlOOH, во втором – смесь Al(OH)<sub>3</sub> и AlOOH.

Кривая 1 на рис. 4 для непро-реагировавшего осадка полностью

соответствует рентгенограмме на рис. 2 (кривая 3) каолина после обжига. Это показывает, что в процессе кавитации не произошло образования других химических соединений. В табл. 3 приведены данные по содержанию оксидов для этих трех образцов. В непрореагировавшем осадке (для кривой 1) выросло содержание  $\text{SiO}_2$  за счет оксида кремния от разложения каолинита азотной кислотой и уменьшилось содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  с переходом его в раствор. Два других образца – гидратированные формы алюминия с незначительным загрязнением кремнеземом, что является следствием несовершенства разрабатываемого метода.

Таблица 3

Содержание основных компонентов ГА на рис. 4, %

Оксид	Кривая 1	Кривая 2	Кривая 3
$\text{SiO}_2$	67,37	3,83	5,32
$\text{Al}_2\text{O}_3$	22,11	67,46	61,63
Loi()	5,43	24,34	28,97
Сумма	99,61	99,90	99,90

**Закключение.** По результатам проведенных исследований можно заключить, что теоретические представления о кислотном разложении обожженного каолинового концентрата в условиях ультразвуковой кавитации полностью подтвердились. Задача об экспериментальном определении параметров технологического процесса в ходе исследований полностью выполнена: определены эффективные температурный интервал обжига, время обработки, концентрация растворов. Полученные результаты по выходу ГА из исследуемых каолиновых концентратов находятся на уровне результатов в известных технологиях.

Основные выводы по завершении экспериментов следующие.

В данной серии экспериментов максимальный выход ГА получен при кавитационной обработке каолинового концентрата, обожженного при температуре 700–800 °С.

Оптимальное время, затрачиваемое на операцию разложения обожженного каолина, составляет 1 ч (для данного кавитационного аппарата), в отличие от затрат времени в известных технологиях, где требуется от 3 ч до нескольких суток для полного разложения концентрата.

В экспериментах использовались навески 10 и 20 г. Опыты с навесками более 20 г показали, что мощности аппарата недостаточно, он не рассчитан на подобную плотность пульпы. При навесках менее 10 г потери в ходе эксперимента составляют существенную часть от стехиометрической нормы по ГА.

За счет свойств, приобретаемых раствором кислоты и самим метакаолинитом в процессе кавитации, для перевода алюминатной составляющей в раствор требуются меньшие концентрации рабочих растворов и времени, чем в известных кислотных технологиях.

Применение ультразвуковой технологии не требует дополнительного перемешивания и создания повышенного давления и температуры, так как за счет самой кавитации происходит стремительное (ударное) перемещение жидкости, особенно в малых объемах, а в зоне схлопывания кавитационных пузырьков возникают сверхвысокие давления и температуры, при этом повышается температура во всем объеме смеси. Температура пульпы в ходе экспериментов составляла от 87 до 99 °С, что является оптимальным для азотно-кислотной технологии.

Метод кавитационного разложения каолиновых концентратов в будущем позволит более широко использовать каолины в глиноземном производстве.

### Список литературы

1. Производство глинозема и экономические расчеты в цветной металлургии: учеб. пособие / И.В. Логинова, А.А. Шопперт, Д.А. Рогожников, А.В. Кырчиков. – Екатеринбург: УМЦ УПИ, 2016. – 253 с.
2. Лайнер Ю.А. Комплексная переработка алюминийсодержащего сырья кислотными способами. – М.: Наука, 1982. – 208 с.
3. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита: пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 782 с.
4. Чукин Г.Д. Строение оксида алюминия и катализаторов гидрообессеривания. Механизмы реакций. – М.: Принта, 2010. – 288 с.
5. Еранская Т.Ю., Римкевич В.С. Кавитационный метод обогащения глиноземсодержащего сырья // Химическая технология. – 2012. – Т. 13, № 5. – С. 291–296.
6. Еранская Т.Ю., Римкевич В.С. Обогащение каолина кавитационным воздействием // Инновации в науке. – 2013. – № 17. – С. 163–166.
7. Еранская Т.Ю., Белов Р.В. Физико-химические методы обогащения минерального сырья // Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии: Третья Всерос. науч. конф.: сб. докл.: в 2 т. – Благовещенск, 2014. – Т. 2. – С. 68–71.

8. Еранская Т.Ю. Электрохимический метод переработки каолинов // Инновационная наука. Аэтерна. – 2015. – № 6. – С. 277–280.

9. Еранская Т.Ю., Римкевич В.С. Электрохимический метод получения гидроксида алюминия из каолинов // Химическая технология. – 2016. – Т. 17, № 1. – С. 7–13.

10. Eranskaya T.Yu., Rimkevich V.S. Electrochemical Production of Aluminum Hydroxide from Kaolins // Theor. Found. Chem. Eng. – 2016. – Vol. 50, № 5. – P. 806–811.

11. Еранская Т.Ю. Влияние электроискрового разряда на разложение каолина в щелочной среде // Austria-science. – 2017. – № 2. – С. 4–9.

12. Еранская Т.Ю. Способ разложения каолина в щелочной среде // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – Октябрь. – № 10(64). – Ч. 3. – С. 41–45.

13. Еранская Т.Ю. Физико-химический метод разложения глинистых минералов на примере каолинов // Вестник АмГУ. Естественные и экономические науки. – 2018. – Вып. 83. – С. 74–78.

14. Еранская Т.Ю. Новые методы обработки каолина // Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии: Пятая Всерос. науч. конф. с междунар. участием: сб. докл. – Благовещенск, 2018. – Т. 2. – С. 67–68.

15. Исследование процесса азотнокислотного выщелачивания алюминия из каолиновых глин / М.Э. Кенжаев [и др.] // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. – 2018. – № 9(54). – URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/6375>

## References

1. Loginova I.V., Shoppert A.A., Rogozhnikov D.A., Kyrchikov A.V. Proizvodstvo glinozema i ekonomicheskie raschety v tsvetnoi metallurgii [Production of alumina and economic calculations in non-ferrous metallurgy]. Ekaterinburg, UMTs UPI, 2016, 253 p.

2. Lainer Iu.A. Kompleksnaia pererabotka aliuminiisoderzhashchego syr'ia kislotnymi sposobami [Complex processing of aluminum-containing raw materials by acid methods]. Moscow, Nauka, 1982, 208 p.

3. Brek D. Tseolitovye molekuliarnye sita [Zeolite molecular sieves]. Moscow, Mir, 1976, 782 p.

4. Chukin G.D. Stroenie oksida aliuminiia i katalizatorov gidroobesserivaniia. Me-khanizmy reaktsii [Structure of aluminum oxide and hydrodesulfurization catalysts. Reaction mechanism]. Moscow, OOO Printa, 2010, 288 p.

5. Eranskaia T.Iu., Rimkevich V.S. Kavitatsionnyi metod obogashcheniia glinozem-soderzhashchego syr'ia [Cavitation method of enrichment of alumina-containing raw materials]. *Khim. tekhnologiya*, 2012, vol. 13, no. 5, pp. 291-296.

6. Eranskaia T.Iu., Rimkevich V.S. Obogashchenie kaolina kavitatsionnym vozde-istviem [Enrichment of kaolin cavitation effect]. *Innovatsii v nauke*, 2013, no. 17, pp. 163-166.

7. Eranskaia T.Iu., Belov R.V. Fiziko-khimicheskie metody obogashcheniia mineral'nogo syr'ia [Physico-chemical methods of mineral raw material enrichment]. *Voprosy geologii i kompleksnogo osvoeniia prirodnnykh resursov Vostochnoi Azii*. Blagoveshchensk, IGiP DVO RAN, 2014, vol. 2, pp. 68-71.

8. Eranskaia T.Iu. Elektrokhimicheskii metod pererabotki kaolinov [Electrochemical method of processing kaolin]. *Innovatsionnaia nauka*, 2015, no. 6, pp. 277-280.

9. Eranskaia T.Iu., Rimkevich V.S. Elektrokhimicheskii metod polucheniia gidrok-sida aliuminiia iz kaolinov [Electrochemical method of producing aluminum hydroxide from a kaolin]. *Khim. tekhnologiya*, 2016, vol. 17, no. 1, pp. 7-13.

10. Eranskaya T.Yu., Rimkevich V.S. Electrochemical Production of Aluminum Hydroxide from Kaolins. *Theor. Found. Chem. Eng.*, 2016, vol. 50, no. 5, pp. 806-811.

11. Eranskaia T.Iu. Vliianie elektroiskrovogo razriada na razlozhenie kaolina v shchelochnoi srede [Influence of electric spark discharge on kaolin decomposition in alkaline medium]. *Austria-science*, 2017, no. 2, pp. 4-9.

12. Eranskaia T.Iu. Sposob razlozheniia kaolina v shchelochnoi srede [Method of decomposition of kaolin in an alkaline medium]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, 2017, no. 10 (64), part 3, pp. 41-45.

13. Eranskaia T.Iu. Fiziko-khimicheskii metod razlozheniia glinistykh mineralov na primere kaolinov [Physico-chemical method of decomposition of clay minerals for example kaolin]. *Vestnik AmGU, Seriya «Estestvennye i ekonomicheskie nauki»*, 2018, iss. 83, pp. 74-78.

14. Eranskaia T.Iu. Novye metody obrabotki kaolina [New methods of processing kaolin]. *Voprosy geologii i kompleksnogo osvoeniia prirodnnykh resursov Vostochnoi Azii*. Blagoveshchensk, IGiP DVO RAN, 2018, vol. 2, pp. 67-68.

15. Kenzhaev M.E. et al. Issledovanie protsessa azotnokislotnogo vyshchela-chivaniia aliuminiia iz kaolinovykh glin [Investigation of the process of nitric acid leaching of aluminum from kaolin clays]. *Universum: Tekhnicheskie nauki*, 2018, no. 9(54). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/6375>

Получено 31.10.2019

### Об авторах

**Еранская Татьяна Юрьевна** (Благовещенск, Россия) – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Лаборатории наукоемких технологий переработки минерального сырья, Институт геологии и природопользования ДВО РАН (675000, г. Благовещенск, пер. Релочный, 1; e-mail: taerta@mail.ru).

### About the authors

**Eranskaya Tatyana Yurievna** (Blagoveshchensk, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of High Technologies of Mineral Processing, Institute of Geology and Nature Management, FEB RAS (1, Relochny av., Blagoveshchensk, 675000; e-mail: taerta@mail.ru).