

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ РУД ЕЛЕНИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

И.А. Гришин<sup>1</sup>, О.П. Шавакулева<sup>1</sup>, Н.В. Фадеева<sup>1</sup>, В.С. Великанов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,  
Магнитогорск, Россия

<sup>2</sup> Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия, e-mail: rzhik\_00@mail.ru

**Аннотация:** Рассмотрен вопрос качества готовой продукции АО «Новокаолиновый ГОК». Изучен химический состав и физико-химические показатели руды. Определено, что в сырье присутствует значительное содержание железа и титана, что отрицательно сказывается на качестве конечных продуктов. Изучено влияние операций классификации на гидроциклоне и мокрой магнитной сепарации на показатели обогащения. Предварительно был выполнен анализ гранулометрического состава представленных проб. Из результатов ситового анализа исходных проб Еленинского месторождения видно, что значительная часть материала крупностью  $-0,04+0,02$  мм. Анализируя результаты разделения проб каолиновой глины на лабораторном гидроциклоне, можно сделать вывод о достаточно высокой эффективности процесса, что доказывается возможностью выделить песковую фракцию крупностью более 0,04 мм. Слив гидроциклона был направлен на мокрую магнитную сепарацию для повышения качества конечного продукта. Полученные результаты свидетельствуют о том, что красящий пигмент — окислы железа — эмульсионной вкрапленности или находятся в кристаллической решетке. Результаты химического, гранулометрического составов и белизны сливов гидроциклона проб Еленинского месторождения свидетельствуют о возможности получения обогащенного каолина кондиционных марок. Даны рекомендации по совершенствованию схемы обогащения руд Еленинского месторождения с целью перехода предприятия на сплошную выемку руд и повышения качества белизны каолина.

**Ключевые слова:** каолин, Еленинское месторождение, обогащение, гранулометрическая характеристика, магнитная сепарация, классификация, гидроциклон, белизна.

**Благодарность:** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FZRU-2020-0011).

**Для цитирования:** Гришин И. А., Шавакулева О. П., Фадеева Н. В., Великанов В. С. Совершенствование технологии обогащения руд Еленинского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 6. – С. 156-166. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_6\_0\_156.

### Improvement of beneficiation technology for the Eleninka deposit ore

I.A. Grishin<sup>1</sup>, O.P. Shavakyleva<sup>1</sup>, N.V. Fadeeva<sup>1</sup>, V.S. Velikanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> G.I. Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

<sup>2</sup> Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia, e-mail: rzhik\_00@mail.ru

---

**Abstract:** The article addresses the problem connected with the end product quality at Novokaolinovy GOK. The chemistry and physicochemical properties of ore are studied. Initial ore contains much iron and titanium, which affects the final product quality adversely. The influence of hydrocycloning and wet magnetic separation on processing efficiency is examined. The grain size composition of ore samples was analyzed first. From the screen analysis results of natural samples from the Eleninka deposit, it is seen that the particles mostly have the size of 0.04+0.02 mm. The lab-scale hydrocycloning data of kaolin clay prove the sufficient efficiency of this method as it enables separation of a sand fraction larger than 0.04 mm. The hydrocyclone outlet was subjected to wet magnetic separation to improve the end product quality. The results show that the coloring pigment—iron oxide—is either ingrained in emulsion or is in the crystal lattice. The analysis of chemistry, grain size composition and whiteness of Eleninka ore samples after hydrocycloning proves producibility of standard-quality beneficiated kaolin. The article gives recommendations on improvement of processing flow charts for the Eleninka deposit ore to produce higher quality white kaolin in case of using the non-selective mining technology.

**Key words:** kaolin, Eleninka deposit, beneficiation, grain size analysis, magnetic separation, sizing, hydrocyclone, whiteness.

**Acknowledgements:** The study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Project No. FZRU-2020-0011.

**For citation:** Grishin I. A., Shavakyleva O. P., Fadeeva N. V., Velikanov V. S. Improvement of beneficiation technology for the Eleninka deposit ore. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(6):156-166. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_6\_0\_156.

---

## Введение

На сегодняшний день наблюдается высокий рост керамической промышленности в России. Каолины являются одним из важнейших сырьевых компонентов, необходимых для производства керамических изделий и строительных материалов. Их свойства обеспечивают основные технологические характеристики сырья и готовой продукции [1–4].

На территории России добыча ведется в небольших масштабах для местных нужд, однако такой подход к добыче каолинов позволяет обеспечить потребности отрасли в сырье лишь на 12–15% при объеме потребления обогащенных каолинов 400–500 тыс. т в год, остальное сырье на данный момент импортируется. Крупные месторождения, находящиеся на территории Российской Федерации,

сосредоточены на Урале, они относятся к Урало-Мугоджарской каолиноносной провинции, которая простирается по всему восточному склону Урала [5–7]. Основными предприятиями-производителями каолина после банкротства ЗАО «Ксанта», перерабатывавшего каолины Кыштымского месторождения, стали АО «Новокаолиновый ГОК», осваивающее Еленинское месторождение каолинов и ООО «Пласт-Рифей», добывающее каолины месторождения «Журавлиный Лог» [8, 9]. Среди производителей также стоит отметить АО «Боровичский комбинат огнеупоров», использующее каолины при производстве огнеупоров, однако за последние годы на предприятии был значительно снижен выпуск шамотной продукции и порошков и, соответственно, объем добычи собственного каолина [10]. Годовой объем производства као-

лина на АО «Новокаолиновый ГОК» в 2020 г. составил 60 тыс. т обогащенного каолина при проектной мощности предприятия 75 тыс. т в год. Необходимо отметить, что предприятия, эксплуатирующие данные месторождения, не ведут глубокого обогащения каолинов, ограничиваясь селективной выемкой каолина, пригодного для реализации в природном виде или перерабатываемого по схемам, основанным на получении двух товарных продуктов — каолина и песка — за счет операций классификации по крупности. Такой подход к переработке сырья приводит к образованию значительного количества отвалов-складов из низкосортного сырья, переработка которого на данный момент не ведется. Задачей исследований является совершенствование действующей технологии за счет вовлечения в переработку низкосортного сырья.

Необходимость решения проблемы переработки низкосортного каолинового сырья с получением кондиционных продуктов связана с постоянно увеличивающейся потребностью различных отраслей промышленности в каолиновом сырье [14]. И если в бумажной и резинотехнической промышленности есть возможность перехода от каолина к микрокальциту в качестве наполнителя, то уникальные вязкостные свойства каолина не позволяют отказаться от него при производстве керамики и огнеупорного сырья, объем производства которых с каждым годом увеличивается [15].

### **Методы**

Исследования, приведенные в работе, проводились на каолиновой руде Еленинского месторождения.

Для решения поставленных задач использован комплекс методов исследования: микроскопическое изучение шлифов на анализаторе твердых тел Минерал С7; для изучения вещественного состава

использовали химический метод, термогравиметрический метод на приборе синхронного термического анализа STA фирмы «NETZSCH» и рентгеноструктурный анализ на дифрактометре SHIMADZU XRD-6000; для определения оптимальных технологических параметров разделения проведены опыты на лабораторных установках (дробилках, мельницах, грохоте, гидроциклоне и магнитном сепараторе).

### **Результаты и обсуждение результатов**

Каолин Еленинского месторождения расположен в Карталинском районе, в 0,5 км к Юго-Востоку от поселка Новокаолинового Челябинской области. Месторождение приурочено к коре выветривания микроклиновых гранитов Джабык-Карагайского массива. Первичные Еленинские каолины образовались на основе полевошпат-содержащих пород месторождения. Глинистая составляющая их практически мономинеральна, она представлена в основном каолинитом, минералы группы гидрослюд содержатся в малых количествах (каолины включают незначительные примеси щелочей). Входящие в состав продуктивной толщи глины представлены в основном каолинами белого цвета, часть пород густо окрашена гидроокислами железа, отчего цвет их изменился на светло-желтый, желтый, охристо-желтый или розовый.

На Еленинском месторождении были отобраны представительные пробы. Полученный материал для изучения был подвергнут изучению химического состава и физико-химических показателей, результаты представлены в табл. 1 и 2.

Из табл. 1 и 2 видно, что в изучаемом материале присутствует значительное содержание железа и титана, что отрицательно сказывается на качестве конечных продуктов.

Таблица 1

**Химический анализ руды Еленинского месторождения**  
**Chemical analysis of Eleninka ore**

Компоненты	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	п.п.п.*
Массовая доля, %	59,77	21,12	1,55	1,05	0,13	0,29	0,33	0,33	10,57
* п.п.п. — потери при прокаливании.									

Таблица 2

**Физико-химические показатели каолина Еленинского месторождения**  
**Physicochemical properties of Eleninka kaolin**

Наименование показателя	Массовая доля, %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , не менее	23,0
SiO <sub>2</sub> , не менее	65,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , не более	1,0
Остаток на сите № 0056	55

Результаты минералогического анализа проб показывают, что основными рудными минералами в пробе являются самородное железо и шпинели с общей формулой AM<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, где А — Mg<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>; М — Al<sup>2+</sup>, Mn<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, V<sup>3+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, Ti<sup>4+</sup>, заключенные в силикатную матрицу, мартит представлен в подчиненном состоянии. Размер вкраплений шпинелей в сростках колеблется от 2 до 30 мкм. При этом следует отметить, что в свободном виде зерна шпинелей не встречаются, при разрушении силикатной матрицы начинается процесс замещения магнетита гематитом, ведущий к образованию зерен мартита. Данное явление характерно лишь для зерен с крупностью свыше 10 мкм. Отсутствие в пробе крупных зерен минералов обусловлено тем, что залежи низкосортных глин приурочены к зоне гематит-содержащих милонитов и в значительной мере подверглись процессам выветривания.

Анализ практики обогащения [16, 17] и состояния отрасли показывает, что невысокая стоимость готового обогащенного каолина и сложность схем его переработки в случае загрязнения кра-

сящими примесями накладывают ограничения на использование операций, значительно увеличивающих себестоимость обогащенного каолина. В результате обогащения получают продукт, который не всегда отвечает требованиям ГОСТ.

В соответствии с ГОСТ 19285-73 одной из важнейших характеристик каолина, при использовании его в качестве наполнителя является белизна.

Белизна каолина определяется в соответствии с ГОСТ 16680-79 и характеризуется содержанием в нем красящих примесей — парамагнитных оксидов железа Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и титана TiO<sub>2</sub>. Оксиды железа и титана присутствуют в каолине либо в рассеянном мелкодисперсном состоянии, либо в виде включений в частицы каолинита. И если оксиды железа имеют определяющее влияние на белизну каолина, то оксиды титана совместно с оксидами железа придают нежелательные оттенки (серый, желтый) обожженным фарфоровым изделиям. Таким образом, удаляя красящие оксиды из каолина, мы повышаем его белизну. На сегодняшний день наиболее эффективным промышленным методом

очистки каолина от красящих примесей считается метод высокоградиентной магнитной сепарации (ВГМС) [18 – 21]. Данный метод является высокоэнергоемким и дорогостоящим, поэтому в работе были рассмотрены альтернативные способы повышения белизны каолина Еленинского месторождения.

На Новокаолиновом ГОК в настоящее время ведется только селективная выемка руды, которая перерабатывается по технологии, включающей в себя: дезинтеграцию; классификацию по классу 500 мкм; последующую классификацию мелкого материала по классу 200 мкм; мелкий продукт в дальнейшем отправляется на «активную» классификацию по классу 63 мкм; мелкий продукт является товарным продуктом с массовой долей каолина 100%, а крупный продукт (более 63 мкм) отправляется на перечистную классификацию по классу 63 мкм. Продукт крупностью более 63 мкм соединяется с продуктом крупнее 200 и 500 мкм, в результате представляют собой хвосты обогащения, потери каолина с которыми составляют около 30%.

Существующая технология имеет ряд недостатков: переработка только участков месторождений с массовой долей

40% и более; большое количество операций классификации, которые не дают высоких показателей обогащения.

Проведенные исследования направлены на совершенствование технологии обогащения каолиновых руд за счет переработки любого участка месторождения и снижения потерь ценного компонента.

В исследованиях изучено 3 пробы каолиновой глины Еленинского месторождения различного цвета. Проба 1 – типичная каолиновая глина белого цвета, проба 2 – молочного цвета, проба 3 – желтоватого цвета.

В качестве изучаемых процессов выбраны: классификация на гидроциклоне и мокрая магнитная сепарация.

Предварительно был выполнен анализ гранулометрического состава представленных проб. Гранулометрический анализ производился мокро-сухим способом, выход классов крупности менее 0,040 мм определялся седиментационным анализом с добавлением жидкого стекла. Результаты представлены на рис. 1.

Из результатов ситового анализа исходных проб Еленинского месторождения видно, что значительная часть (29,78; 35,89; 33,83% соответственно

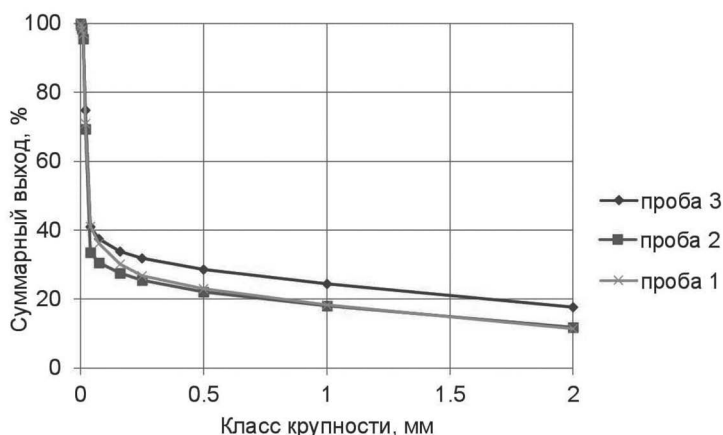


Рис. 1. Гранулометрические характеристики проб Еленинского месторождения

Fig. 1. Grain size composition of Eleninka ore samples

Таблица 3

**Баланс продуктов при разделении проб каолиновой глины на лабораторном гидроциклоне**

**Balance of products in separation of kaolin clay samples on laboratory hydrocyclone**

Наименование пробы	Наименование продукта	Выход продукта, %
1	Слив гидроциклона	58,42
	Пески гидроциклона	41,58
	Исходный	100
2	Слив гидроциклона	67,41
	Пески гидроциклона	32,59
	Исходный	100
3	Слив гидроциклона	59,3
	Пески гидроциклона	40,7
	Исходный	100

в пробе 1; 2; 3) материала крупностью  $-0,04+0,02$  мм.

Проведенный термический анализ исследуемых проб глины показал, что в классы крупности  $-40+20$  мкм и  $-20+0$  мкм представлены чистым каолином. Класс крупности  $+40$  мкм кроме каолина содержит много кварца, а также незначительное количество гидрослюды. Требуемая граница разделения по крупности для получения высокосортового обогащенного каолина без вве-

дения дополнительных операций разделения должна составлять 40 мкм.

Разделение изучаемых проб проводилось на лабораторном гидроциклоне со следующими конструктивными параметрами: диаметр цилиндрической части 60 мм, угол конусности 150, разгрузочное отношение 0,62, давление пульпы на входе в гидроциклон оставалось постоянным 0,12 МПа. Переменным параметром являлась разжиженность исходного питания, которая менялась от 4

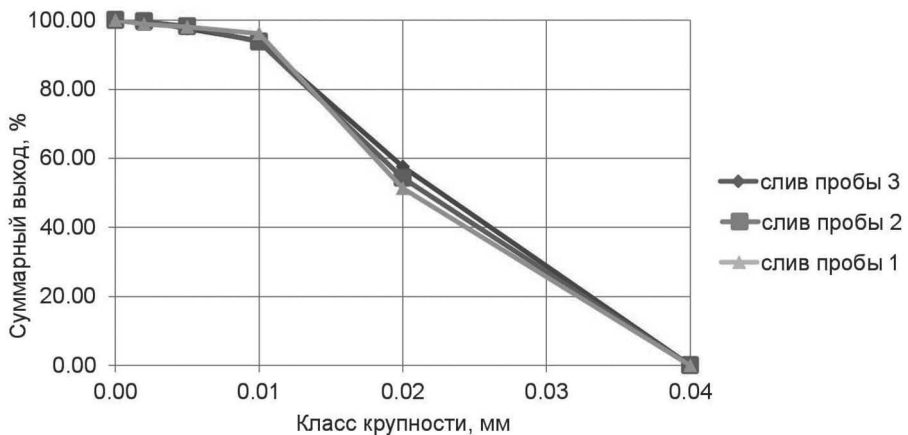


Рис. 2. Гранулометрические характеристики сливов гидроциклонов

Fig. 2. Grain size composition of hydrocyclone outlets

до 9. По результатам опытов оптимальное процентное содержание твердого в исходной пульпе составило 15%. Результаты разделения проб при оптимальном значении разжиженности представлены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что в слив гидроциклона уходит больше 50% исходного материала, для анализа крупности сливов гидроциклона, результаты которых представлены на рис. 2, использован седиментационный метод.

Анализируя результаты разделения проб каолиновой глины (рис. 2) на лабораторном гидроциклоне, можно сделать вывод о достаточно высокой эффективности процесса, что доказывается возможностью выделить песковую фракцию крупностью более 0,04 мм. Выход слива составил от 58,42 до 67,41%. В то же время не удалось достичь требуемого медианного диаметра частиц на уровне 0,002 мм. В сливах гидроциклона медианный диаметр составил от 0,002 до 0,0024 мм.

Результаты анализа сливов гидроциклонов исследуемых проб каолинового сырья представлены в табл. 4.

Полученный слив гидроциклона пробы 3 был направлен на мокрую магнитную сепарацию для повышения качества конечного продукта. Магнитный анализ осуществлялся в трубчатом магнитном анализаторе. Выход магнитного продукта составил 0,34% при напряженности магнитного поля 1600 кА/м. При более низких значениях напряженности магнитного поля магнитный про-

дукт выделить не удалось. Кроме этого, цвет немагнитного продукта после анализа остался желтоватым. Полученные результаты свидетельствуют о том, что красящий пигмент — окислы железа — эмульсионной вкрапленности или находятся в кристаллической решетке.

Результаты химического, гранулометрического составов и белизны сливов гидроциклона проб Еленинского месторождения свидетельствует о возможности получения обогащенного каолина марок:

- проба 1 — КС 1 (ГОСТ 21286-82), КАХ 2 (ГОСТ 19607-74), Кр и ККЖТ (ГОСТ 19608-84);
- проба 2 — КС 1 (ГОСТ 21286-82), КАХ 2 (ГОСТ 19607-74), Кр и ККЖТ (ГОСТ 19608-84);
- проба 3 — КАХ 2 (ГОСТ 19607-74).

Песковая фракция гидроциклона была изучена на следующие показатели: модуль крупности; зерновой состав; содержание пылевидных и глинистых частиц; содержание органических примесей; истинная плотность зерен.

Полученные результаты свидетельствуют о соответствии песка требованиям ГОСТ 8736-2014.

Проведенные в работе исследования позволяют рекомендовать технологию обогащения руд Еленинского месторождения. Технологической схемой предусматриваются:

- дезинтеграция исходного продукта;
- классификация материала по классу 500 мкм, с выделением отвальных хвостов крупностью более 500 мкм;

Таблица 4

**Результаты лабораторного анализа сливов гидроциклона**  
**Lab-scale analysis data of hydrocyclone outlets**

Наименование пробы	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Белизна
1	0,91	1,52	36,2	80,8
2	1,10	1,68	35,1	74,4
3	1,63	0,97	37,6	58,8

- классификация на гидроциклонах материала менее 500 мкм с выделением отвалных хвостов крупностью 40 мкм;
- обезвоживание в пресс-фильтрах слива гидроциклона с получением концентрата с массовой долей каолина 100%.

В результате получается товарный продукт, отвечающий требованиям ГОСТ, и отвалы хвосты с потерями ценного компонента менее 20%. Предлагаемая технология применима для любых участков месторождения, независимо от массовой доли каолина.

### Заключение

Для совершенствования технологии обогащения руд Еленинского месторождения изучен химический состав и физико-химические показатели каолиновой руды. Определено, что в сырье присутствует значительное содержание

железа и титана, что отрицательно сказывается на качестве конечных продуктов. Изучено влияние операций классификации на гидроциклоне и мокрой магнитной сепарации на показатели обогащения. Полученные результаты разделения проб имеют достаточно высокие показатели. Химический, гранулометрический состав и белизна продуктов свидетельствует о возможности получения обогащенного каолина кондиционных марок. Таким образом, рекомендуется на предприятии АО «Новокаолиновый ГОК» вести неселективную выемку руды и обогащать по схеме, предусматривающей классификацию по классу 40 мкм на гидроциклонах. Это позволит повысить качество готового товарного продукта с одновременным снижением потерь ценного компонента при обогащении.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солодкий Н. Ф., Шамриков А. С. Сырьевые материалы и пути повышения эффективности производства строительной керамики // Стекло и керамика. — 2009. — № 1. — С. 26–27.

2. *Normatov I., Kamolov E. B.* Development of an algorithm for optimizing the technological process of kaolin enrichment / IEEE International IOT. Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS). 2020, article 9216371.

3. *Hojamberdiev M. I.* Alliance kaolin — a new silicate raw material. Part 2: Enrichment methods // InterCeram: International Ceramic Review. 2005, vol. 54, no. 5, pp. 312–315.

4. *Wang N., Gu H., Wen H., Liu S.* Enrichment of niobium and titanium from kaolin using an acid-alkali leaching process // Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science. 2018, vol. 49, no. 6, pp. 3552–3558. DOI 10.1007/s11663-018-1405-6.

5. *Клопотова Н. Г., Сидорина Н. Г., Бородина М. Г., Король Е. А., Пушкарева Т. А.* Исследование глин Сибирского региона для создания композитов на их основе // Бюллетень медицинской науки. — 2020. — № 2(18). — С. 18–21.

6. *Tauler E., Xu J., Campeny M.* A new kaolin deposit in Western Africa: Mineralogical and compositional features of kaolinite from Caluquembe (Angola) // Clays and Clay Minerals. 2019, vol. 67, no. 3, pp. 228–243. DOI 10.1007/s42860-019-00021-4.

7. *Eminov A. A.* Development composition of the refractory mass on the basis of the composition «quartzite-quartz sand-kaolinite clay» // East European Scientific Journal. 2017, no. 3-2(19), pp. 86–89.

8. *Масленникова Г. Н., Колышкина Н. В., Шамриков А. С., Стафеева З. В.* Обогащенный каолин месторождения «Журавлиный Лог» для керамического производства // Стекло и керамика. — 2002. — № 1. — С. 15–19.

9. *Солодкий Н. Ф., Солодкая М. Н., Шамриков А. С.* Сырьевая база керамической и огнеупорной промышленности Урала / Современное состояние и перспективы исполь-



зования сырьевой базы Челябинской области. Сборник научных статей. — Челябинск, 2000. — С. 106—107.

10. Шамриков А. С. Технология обогащения и стабилизации керамических свойств каолинов месторождения «Журавлиный Лог»: автореферат дис. ... канд. технич. наук. — Южноуральск, 2002. — 222 с.

11. Седельникова Г. В., Рогожин А. А., Лыгина Т. З., Левченко Е. Н. Современные технологии переработки минерального сырья, обеспечивающие полноту и комплексность освоения месторождений ТПИ // Разведка и охрана недр. — 2013. — № 4. — С. 62—67.

12. Yanikova T. Mineral processing waste utilization / 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020. Albena, Bulgaria, 2020, vol. 20, pp. 821—828. DOI: 10.5593/sgem2020/1.1/s04.100.

13. Ситнова М. Обзор рынка каолина в СНГ // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2007. — № 10. — С. 375—380.

14. Ковзаленко В. А., Сарсенбай Г., Садыков М. К., Имангалиева Л. М. Каолины — некондиционное алюмосиликатное сырье // Комплексное использование минерального сырья. — 2015. — № 3(294). — С. 32—37.

15. Осипова К. Г., Осипов Г. Н. Некоторые особенности управления рисками в горнодобывающей промышленности // Корпоративная экономика. — 2018. — № 4(16). — С. 28—40.

16. Гришин И. А. Способ повышения качества огнеупорных глин / Современные достижения университетских научных школ: Сборник докладов национальной научной школы-конференции. — Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2019. — С. 173—175.

17. Арсентьев В. А., Герасимов А. М., Мезенин А. О. Исследование технологии обогащения каолинов с использованием гидротермального модифицирования // Обогащение руд. — 2017. — № 2(368). — С. 3—9.

18. Галямов В. Ш., Гришин И. А. Разработка технологии для комплексной переработки глиноземсодержащего сырья // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № S2-4. — С. 3—10.

19. Галямов В. Ш., Гришин И. А., Чижевский В. Б. Использование комбинированных технологий обогащения для сокращения отвалообразования при отработке месторождений нерудных полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № S2-4. — С. 32—43.

20. Галямов В. Ш. К вопросу о расширении сырьевой базы каолинового сырья / IX Конгресс обогатителей стран СНГ. Сборник материалов. Т. II. — М.: МИСиС, 2013. — С. 699—701.

21. Гришин И. А., Галямов В. Ш. Развитие технологии обезжелезивания глиноземного сырья / Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 69-й научно-технической конференции. Т. 1. — Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2011. — С. 18—21. **ПИАБ**

## REFERENCES

1. Solodkiy N. F., Shamrikov A. S. Raw materials and ways to increase the efficiency of the production of construction ceramics. *Glass and ceramics*. 2009, no. 1, pp. 26—27. [In Russ].

2. Normatov I., Kamolov E. B. Development of an algorithm for optimizing the technological process of kaolin enrichment. *IEEE International IOT. Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS)*. 2020, article 9216371.

3. Hojamberdiev M. I. Alliance kaolin — a new silicate raw material. Part 2: Enrichment methods. *InterCeram: International Ceramic Review*. 2005, vol. 54, no. 5, pp. 312—315.

4. Wang N., Gu H., Wen H., Liu S. Enrichment of niobium and titanium from kaolin using an acid-alkali leaching process. *Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy*

*and Materials Processing Science*. 2018, vol. 49, no. 6, pp. 3552 – 3558. DOI 10.1007/s11663-018-1405-6.

5. Klopotova N. G., Sidorina N. G., Borodina M. G. Study of clays of the Siberian region to create composites based on them. *Bulletin of Medical Science*. 2020, no. 2(18), pp. 18 – 21. [In Russ].

6. Tauler E., Xu J., Campeny M. A new kaolin deposit in Western Africa: Mineralogical and compositional features of kaolinite from Caluquembe (Angola). *Clays and Clay Minerals*. 2019, vol. 67, no. 3, pp. 228 – 243. DOI 10.1007/s42860-019-00021-4.

7. Eminov A. A. Development composition of the refractory mass on the basis of the composition «quartzite-quartz sand-kaolinite clay». *East European Scientific Journal*. 2017, no. 3-2(19), pp. 86 – 89.

8. Maslennikova G. N., Kolyshkina N. V., Shamrikov A. S., Stafeeva Z. V. Enriched kaolin of Zhuravliniy Log deposit for ceramic production. *Glass and ceramics*. 2002, no. 1, pp. 15 – 19. [In Russ].

9. Solodkiy N. F., Solodkaya M. N., Shamrikov A. S. The raw material base of the ceramic and refractory industry of the Urals. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya syr'evoy bazy CHelyabinskoy oblasti. Sbornik nauchnykh statey* [The current state and prospects of using the raw material base, Chelyabinsk region. Collection of scientific articles], Chelyabinsk, 2000, pp. 106 – 107. [In Russ].

10. Shamrikov A. S. *Tekhnologiya obogashcheniya i stabilizatsii keramicheskikh svoystv kaolinov mestorozhdeniya «Zhuravlinyy Log»* [Technology of enrichment and stabilization of ceramic properties of kaolins of Zhuravliniy Log deposit], Candidate's thesis, Yuzhnoural'sk, 2002, 222 p.

11. Sedelnikova G. V., Rogozhin A. A., Lygina T. Z., Levchenko E. N. Modern technologies for processing mineral raw materials, ensuring the completeness and complexity of the development of TPI deposits. *Prospect and protection of mineral resources*. 2013, no. 4, pp. 62 – 67. [In Russ].

12. Yankova T. Mineral processing waste utilization. *20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020*. Albena, Bulgaria, 2020, vol. 20, pp. 821 – 828. DOI: 10.5593/sgem2020/1.1/s04.100.

13. Sitnova M. Review of the kaolin market in the CIS. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2007, no. 10, pp. 375 – 380. [In Russ].

14. Kovzalenko V. A., Sarsenbay G., Sadykov M. K., Imangalieva L. M. Kaolin – sub-alumina raw material. *Complex Use of Mineral Resources*. 2015, no. 3(294), pp. 32 – 37. [In Russ].

15. Osipova K. G., Osipov G. N. Some Features of risk management in the mining industry. *Korporativnaya ekonomika*. 2018, no. 4(16), pp. 28 – 40.

16. Grishin I. A. A way to improve the quality of refractory clays. *Sovremennye dostizheniya universitetskikh nauchnykh shkoly: Sbornik dokladov natsional'noy nauchnoy shkoly-konferentsii* [Modern achievements of university scientific schools: Collection of reports of the National scientific school-conference], Magnitogorsk, MGTU im. G.I. Nosova, 2019, pp. 173 – 175. [In Russ].

17. Arsentiev V. A., Gerasimov A. M., Mezenin A. O. Research of technology of kaolin enrichment using hydrothermal modification. *Obogashchenie Rud*. 2017, no. 2(368), pp. 3 – 9. [In Russ].

18. Galyamov V. Sh., Grishin I. A. Development of technology for complex processing of alumina-containing raw materials. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014, no. S2-4, pp. 3 – 10. [In Russ].

19. Galyamov V. Sh., Grishin I. A., Chizhevsky V. B. The use of combined enrichment technologies to reduce dumping during the development of deposits of non-metallic minerals. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014, no. S2-4, pp. 32 – 43. [In Russ].

20. Galyamov V. Sh. On the issue of expanding the raw material base of kaolin raw materials. *IX Kongress obogatiteley stran SNG. Sbornik materialov*. Т. II [IX Congress of concentrators of the CIS countries. Collection of materials, vol. II], Moscow, MISiS, 2013, pp. 699–701. [In Russ].

21. Grishin I. A., Galyamov V. Sh. Development of technology of de-ironing of alumina raw materials. *Aktual'nye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya: materialy 69-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Т. 1 [Actual problems of modern science, technology and education: materials of the 69th scientific and technical conference, vol. I], Magnitogorsk, MGТУ im. G.I. Nosova, 2011, pp. 18–21. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Гришин Игорь Анатольевич*<sup>1</sup> — канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой, e-mail: igorgri@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-8010-7542,

*Шавакулева Ольга Петровна*<sup>1</sup> — канд. техн. наук, доцент, e-mail: shavakylevao@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-6291-2687,

*Фадеева Наталья Владимировна*<sup>1</sup> — канд. техн. наук, доцент, e-mail: natali\_fadeeva@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-9291-9927,

*Великанов Владимир Семенович* — д-р техн. наук, доцент, профессор, Уральский федеральный университет, e-mail: rizhik\_00@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5581-2733,

<sup>1</sup> Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.

**Для контактов:** Великанов В.С., e-mail: rizhik\_00@mail.ru, Гришин И.А., e-mail: igorgri@mail.ru

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*I.A. Grishin*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Head of Chair, e-mail: igorgri@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-8010-7542,

*O.P. Shavakyleva*<sup>2</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: shavakylevao@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-6291-2687,

*N.V. Fadeeva*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: natali\_fadeeva@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-9291-9927,

*V.S. Velikanov*, Dr. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Professor, e-mail: rizhik\_00@mail.ru, Ural Federal University, 620002, Ekaterinburg, Russia, ORCID ID: 0000-0001-5581-2733,

<sup>1</sup> G.I. Nosov Magnitogorsk State Technical University, 455000, Magnitogorsk, Russia

**Corresponding author:** V.S. Velikanov, e-mail: rizhik\_00@mail.ru, I.A. Grishin, e-mail: igorgri@mail.ru.

Получена редакцией 14.03.2022; получена после рецензии 21.04.2022; принята к печати 10.05.2022.  
Received by the editors 14.03.2022; received after the review 21.04.2022; accepted for printing 10.05.2022.