

шума влияет и на других работников животноводческих ферм. Поэтому сумма экономической эффективности мероприятий по снижению уровня шума на молочных фермах может возрастать в зависимости от общего количества работающих на ферме.

Список использованной литературы

1. Балакина, Н.А. Оценка экономической эффективности мероприятия по борьбе с производственным шумом / Н.А. Балакина, А.И. Балакин // Бюллетень науки и практики. – 2020. – Т. 6. – № 3. – С. 289–294.
2. ГОСТ Р ИСО 1999-2017. Акустика. Оценка потери слуха вследствие воздействия шума местах [Электронный ресурс] // КОДЕКС : электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL : <http://docs.cntd.ru/document.1200157242> (дата обращения : 20.05.2024).
3. Юлин, Е.Я. Борьба с шумом на производстве / Е.Я. Юлин. – М. : Машиностроение. – 1985. – 400 с.
4. Гурина, А.Н. Эффективные методы борьбы с шумом на рабочих местах / Гурина А.Н. [и др.]. // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: доклады Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 30–31 марта 2023 г. – Минск : БГАТУ, 2023. – С. 309–311.

Summary. The procedure for calculating the expected annual economic efficiency of implementing measures to reduce industrial noise is considered. The dependence of the degree of risk of hearing damage on the equivalent noise level and duration of work is given.

УДК 666.321

Сергиевич О.А.¹, кандидат технических наук;

Попов Р.Ю.¹, кандидат технических наук, доцент;

Богдан Е.О.¹, кандидат технических наук, доцент;

Шевченко А.А.², кандидат технических наук, доцент;

Колонтаева Т.В.³, кандидат технических наук, доцент

¹ УО «Белорусский государственный технологический университет»,
г. Минск, Республики Беларусь,

² УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республики Беларусь,

³ Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республики Беларусь

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ КАОЛИНОВОГО СЫРЬЯ БЕЛОРУССКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Аннотация. Проведены комплексные исследования структуры и химико-минералогического составов белорусских каолинов, которые определяют их технологические свойства, способы повышения кондиционности и пути ис-

пользования в различных отраслях промышленности. Изучение первичных каолинов методом ИК-спектроскопии позволило установить несовершенство их кристаллических структур.

Ключевые слова. Каолин, химико-минералогический состав, структурная формула, рентгенофазовый анализ, структура, гранулометрический состав, ИК-спектроскопия.

Abstract. Comprehensive studies of the structure and chemical and mineralogical compositions of Belarusian kaolins have been carried out, which determine their technological properties, methods of increasing the quality and ways of use in various industries. The study of primary kaolins by IR spectroscopy made it possible to establish the imperfection of their crystalline structures.

Keywords. Kaolin, chemical and mineralogical composition, structural formula, X-ray phase analysis, structure, granulometric composition, infrared spectroscopy.

В настоящее время мировое производство каолинового сырья составляет свыше 40 млн. тонн в год, причем наблюдается устойчивая тенденция роста его потребления различными отраслями промышленности при получении строительных и огнеупорных материалов, резинотехнических изделий, пластмасс, бумаги, лакокрасочных материалов, медицинских препаратов, пищевых продуктов и др. [1–4]. В связи с этим весьма актуальными являются исследования, связанные с разработкой новых перспективных месторождений каолинового сырья, комплексным изучением его химико-минералогического состава, структурных особенностей и свойств, обоснованием целесообразности обогащения каолинов и их последующего практического применения в различных областях промышленности.

В Республике Беларусь особая роль отводится максимальному вовлечению отечественного минерального сырья в технологию получения керамических материалов различного назначения, что существенно влияет на себестоимость готовых изделий, а также позволяет решать вопросы ресурсосбережения и импортозамещения. На территории Беларуси выявлено два крупных месторождения каолинов («Ситница» Брестской обл. и «Дедовка» Гомельской обл.), два менее мощных («Люденевичи» и «Березина» Брестской обл.) и несколько проявлений («Скрипицкое», «Глушковичи», «Селище» Брестской обл.). Первые результаты исследований и геологические сведения о месторождениях белорусских каолинов приведены в работах [5], из которых следует, что наиболее масштабными и детально разведанными являются первичные каолины месторождений «Ситница» и «Дедовка» с общими запасами по Республике Беларусь 25,09 млн. т (в т. ч. предполагаемого продукта обогащения – 9,72 млн. т). Установлено, что в белорусских каолинах присутствует достаточно высокое количество примесных

оксидов (Fe_2O_3 , TiO_2 и K_2O , а также SiO_2 – в каолине «Дедовке») по сравнению с импортируемыми. Положительные результаты апробации местного каолинового сырья предполагают проведение более детальных комплексных исследований с последующей перспективой освоения месторождений [6].

В данной работе представлены комплексные исследования химического, минерального, гранулометрического состава и структуры первичных природных каолинов месторождений Республики Беларусь «Ситница» и «Дедовка» с установлением особенностей во взаимосвязи с их физико-химическими и технологическими свойствами.

Химический состав природных каолинов свидетельствует о том, что в соответствии с ГОСТ 2642–2014 по содержанию Al_2O_3 в прокаленном состоянии данные пробы (каолин «Ситница» – 26,6 %; каолин «Дедовка» – 19,7 %) относятся к группе полукислого сырья с высоким содержанием SiO_2 (соответственно 65,4 и 72,9 %); по содержанию окрашивающих оксидов ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$) первичный каолин «Дедовка» (0,74 %) относится к группе с низким содержанием, а каолин «Ситница» (2,37 %) – к группе со средним содержанием окрашивающих оксидов.

Минеральный состав глинистой составляющей природного каолина месторождения «Ситница» представлен в основном каолинитом. Примесными минералами являются кварц в значительном количестве, гидрослюдастые и полевошпатовые включения. Каолин месторождения «Ситница» относится к четвертому классу кристалличности (индекс кристалличности 0,88 по Д. Хинкли), что свидетельствует о несовершенстве его кристаллической структуры. Минеральный состав первичного каолина «Дедовка» представлен каолинитом с примесными минералами кварца, а также незначительным содержанием гидрослюдастых и полевошпатовых включений.

Качественный фазовый состав исследуемых каолинов не имеет существенных отличий и представлен каолинитом, кварцем и побочными гидрослюдастыми (иллитом) и полевошпатовыми (микроклином) минералами. Можно отметить лишь незначительные различия интенсивностей дифракционных максимумов присутствующих кристаллических фаз.

Анализ рассчитанного по методике [7] пофракционного минерального состава позволил установить, что полевошпатовая часть помимо микроклина представлена альбитом в количестве 1 % для каолина «Ситница» и 0,8 % для каолина «Дедовка»; присутствуют также кварц и рутил (0,3 и 0,7 %). В качестве глинообразующих минералов содержатся каолинит, гидрослюды и незначительное количество монтмориллонита (0,01 и 0,02 %).

Согласно традиционным представлениям о структуре, минералы каолиновой группы обладают примерно одинаковым составом: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ или $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, их характерной особенностью является наличие

каолининового слоя. Из анализа обзора литературы следует, что такой слой состоит из одной гексагональной тетраэдрической сетки Si–O и наложенной на нее сетки из Al–O, OH-октаэдров, подобной слою в структуре гиббсита (Al(OH)₃ по Паулингу) [8]. Длины осей в гиббсите равны $b \sim 5,06 \text{ \AA}$, $a \sim 8,62 \text{ \AA}$, а в кремнекислородной сетке – $a \sim 5,2 \text{ \AA}$, $b \sim 9,0 \text{ \AA}$. Такое строение слоя обуславливает ярко выраженный полярный характер; отмечается также заметная тенденция слоя к изгибу, что объясняется небольшими размерами и несовершенством кристаллов каолинита.

Результаты, полученные Грюнером и Бриндли [8], подтвердили идеи Паулинга о слоистой структуре каолинита. Анализ структуры каолинита показал, что его кристаллы слишком несовершенны для получения монокристалльных снимков, вследствие чего предложенную модель структуры следует рассматривать как идеализированную. Собственно каолинит является триклинным с размерами элементарной ячейки $a = 5,14 \text{ \AA}$; $b = 8,93 \text{ \AA}$; $c = 7,37 \text{ \AA}$; $\alpha = 91,8^\circ$; $\beta = 104,5\text{--}105^\circ$; $\gamma = 90^\circ$ и обладает структурой, в которой слои расположены с периодом в 1 слой (у диккита – с периодом в 2 слоя, накрита – двухэтажные слои с периодом в 6 слоев), вертикальный разрез которого представлен на рисунке 1.

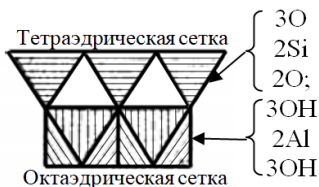


Рисунок 1 – Вертикальный разрез силикатного слоя каолинита

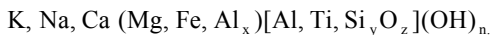
Представленные в работе [9] электронно-микроскопические снимки чистого каолинита и смешанной формы с монтмориллонитом показывают, что частицы каолинита имеют незначительную толщину и псевдогексагональные очертания. Обычно встречаются их крупные сростки, состоящие из наложенных друг на друга искаженных пластинчатых частиц различной толщины, близких к шестигранной форме. Переходные формы между каолинитом и монтмориллонитом представлены крупными частицами, напоминающими по своей форме псевдогексагональные кристаллы каолинита, но с несколько сглаженными углами, частично разрушенными ребрами. Просматривая в микроскопе ряд полей, можно установить все стадии перехода от более или менее хорошо выраженных псевдогексагональных кристаллов каолинита до частиц, практически полностью утративших четкость выражения углов и граней, хотя в облике частиц все же угадывается шестигранная форма.

Размеры кристаллов каолинита и каолининовых пакетов (сростков), различимых на приведенных снимках, составляют для природного каоли-

на «Ситница» 0,16–3,41 и 36,20–367,2 мкм; для обогащенного – 0,14–2,11 и 15,10–62,20 мкм; для природного каолина «Дедовка» – 0,27–2,47 и 10,50–231,00 мкм; для обогащенного – 0,19–2,03 и 7,30–28,90 мкм.

Такие структурные формы характерны для природных каолинов «Ситница» и «Дедовка», где кроме монтмориллонита в состав глинистой части могут входить другие примесные минералы. Среди слоистых силикатов имеются триоктаэдрические аналоги каолиновых минералов, содержащие в октаэдрах ионы Mg^{2+} (хризотил-антигорит), Fe^{3+} (кронштеттит), Mg^{2+} и Fe^{3+} (амезит), где у последних двух предполагается некоторое замещение тетраэдрического Si^{4+} на Al^{3+} и даже Fe^{3+} при соблюдении баланса валентностей. В общем случае природный каолинит любой изоморфной серии может иметь смешанный состав катионов: в тетраэдрах небольшая часть Si^{4+} , по-видимому, может заменяться Al^{3+} и Ti^{4+} ; в октаэдрах могут располагаться ионы Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , Cr^{3+} , Zn^{2+} , Li^{+} и между слоями – K^{+} , Na^{+} , Ca^{2+} .

Окончательный баланс зарядов достигается обменными катионами, располагающимися между слоями, что может быть выражено формулой:



Формула каолинита выглядит следующим образом: $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$.

Согласно методике расчета структурных формул по Б. Б. Звягину [10], основанной на химическом составе каолинового сырья, произведен расчет, и в таблице 1 представлены структурные химические формулы каолинита первичных обогащенных каолинов месторождений «Ситница» и «Дедовка».

Таблица 1 – Структурные химические формулы каолинита

Наименование месторождения	Эмпирическая химическая формула
«Ситница»	$K_{0,223}Na_{0,08}Ca_{0,022}(Mg_{0,055}Fe_{0,166}Al_{3,563})[Ti_{0,062}Si_{4,027}O_{10,668}](OH)_{6,942}$
«Дедовка»	$K_{0,361}Na_{0,002}Ca_{0,02}(Mg_{0,014}Fe_{0,069}Al_{3,439})[Ti_{0,041}Si_{4,429}O_{10,986}](OH)_{6,148}$

Результаты полученных расчетных данных, приведенные в таблице 1, позволили сделать вывод о том, что в сравнении с формулой каолинита $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$ в исследованных каолинах определяется избыток Si, связанный с незначительной примесью кремнезема, а также недостаток Al и гидроксид-ионов (OH⁻), обусловленный наличием гидрослюды. Выявлено, что в тетраэдрическом и октаэдрическом слое могут присутствовать катионы Mg^{2+} , Fe^{3+} и Ti^{4+} . Ионы K^{+} , Na^{+} , Ca^{2+} , вероятно, находятся только в межслоевом пространстве в виде обменных катионов, а в основном их содержание будет определяться тонкодисперсными примесными минералами материнской породы каолинов.

Анализ ИК-спектров природных каолинов в высокочастотной области позволил установить наличие ОН-групп в межслоевом пространстве, внутри и на поверхности октаэдрического слоя, а также адсорбированных молекул воды. В низкочастотной области на ИК-спектрах сосредоточены полосы поглощения силикатных структур каолинов, а также интенсивные пики деформационных колебаний связей Si–O–Si, характерные для необогащенных каолинов. Возможно присутствие в природных каолинах белорусских месторождений минерала каолиновой группы – диккита. Определены значения показателя индекса кристалличности (по Хинкли) для природных и обогащенных каолинов «Ситница» (0,94 и 1,11) и «Дедовка» (0,98 и 1,04) в сравнении с просяновским каолином (1,31).

Грубодисперсная часть представлена в основном примесными минералами – кварцем и микроклином и характеризуется максимальным содержанием SiO₂ (81,5 % – для природного каолина «Ситница», 76,9 % – для природного каолина «Дедовка»). Примесные минералы присутствуют также во фракциях 0,3–0,1 и 0,1–0,005 мм, причем их значительное количество приходится на фракции 0,1–0,15 мм (преобладают кварцевые частицы) и 0,005–0,01 мм (частицы тонкодисперсного микроклина с примесями кварца). Анализ результатов изучения зернового состава каолинов не позволяет точно установить максимальное содержание глинистой составляющей за счет присутствия определенного количества мелкодисперсных примесей. Были построены дифференциальные кривые распределения частиц по размерам во взаимосвязи с минеральным составом природных каолинов «Ситница» и «Дедовка» (рисунок 2).

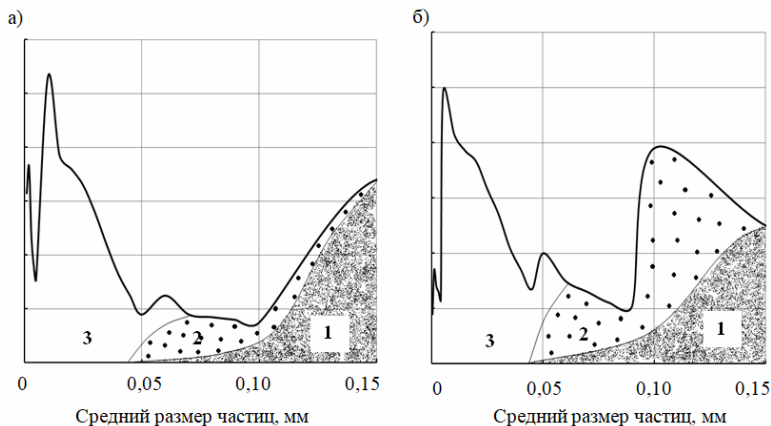


Рисунок 2 – Распределение частиц по размерам в каолинах «Ситница» (а), «Дедовка» (б) и области с характерным минеральным составом: 1 – кварц; 2 – микроклин; 3 – глинистые минералы (каолинит, гидрослюды)

По результатам проведенных исследований установлено, что химико-минералогический состав каолинов месторождений «Ситница» и «Дедовка» не имеет существенных различий по фазовым составляющим. Установлен размер частиц каолинита, представляющих собой сростки пластинчатых частиц псевдогексагональной формы, для природных и обогащенных разностей с помощью электронно-микроскопического исследования. Показано расчетным методом, что в тетраэдрическом и октаэдрическом слое каолинита могут находиться Mg^{2+} , Fe^{3+} и Ti^{4+} . Учитывая высокое содержание примесных минералов и гидрогеологические условия залегания каолинов исследуемых месторождений целесообразно применение мокрых способов обогащения.

Список использованной литературы

1. Buyondo K. A., Kasedde H., Kirabira J. B. A comprehensive review on kaolin as pigment for paint and coating : Recent trends of chemical-based paints, their environmental impacts and regulation // Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. – 2022. – P. 100244.
2. Ercan H. Ü. et al. Comparison of Epithermal Kaolin Deposits from the Etili Area (Çanakkale, Turkey) : Mineralogical, Geochemical, and Isotopic Characteristics // Clays and Clay Minerals. – 2022. – P. 1–27.
3. Biswas B. et al. Understanding Iron Impurities in Australian Kaolin and Their Effect on Acid and Heat Activation Processes of Clay // ACS Omega. – 2023.
4. Maged A. et al. Evaluation insight into Abu Zenima clay deposits as a prospective raw material source for ceramics industry : Remote Sensing and Characterization // Scientific Reports. – 2023. – Vol. 13. – №. 1. – P. 58.
5. Вечер, В.А. Полезные ископаемые Беларуси : к 75-летию Белорус. науч.-исслед. геологоразведоч. ин-та / Вечер В.А. [и др.]. – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2002, – 528 с.
6. Дятлова, Е. М. Перспективы использования каолинов белорусских месторождений «Ситница» и «Дедовка» для получения алюмосиликатных огнеупоров / Дятлова Е.М. [и др.] // Огнеупоры и техн. керамика. – 2016. – № 3. – С. 40–46.
7. Дудеров, Ю.Г. Расчеты по технологии керамики : справочное пособие / Ю.Г. Дудеров, И.Г. Дудеров – Москва : Стройиздат, 1973, – 80 с.
8. Брэгг, У.Л. Кристаллическая структура минералов / У.Л. Брэгг, Г.Ф. Кларингбулл, В.А. Франк-Каменецкий. – Москва : Мир, 1967. – 390 с.
9. Рекшинская, Л.Г. Атлас электронных микрофотографий глинистых минералов и их природных ассоциаций в осадочных породах / Л.Г. Рекшинская. – Москва : Недра, 1966, – 230 с.
10. Викулова М.Ф. Методическое руководство по петрографо-минералогическому изучению глин / М.Ф. Викулова, П.М. Татаринев. – Москва : Госгеолтехиздат, 1957. – 448 с.

Summary. Based on the results of the studies, it was established that the chemical and mineralogical composition of kaolins of the Sitnitsa and Dedovka deposits does not have significant differences in phase components. The

size of kaolinite particles, which are intergrowths of pseudo-hexagonal-shaped plate particles, for natural and enriched differences was determined using electron microscopic examination. It is shown by calculation that Mg^{2+} , Fe^{3+} and Ti^{4+} can be present in the tetrahedral and octahedral kaolinite layer. Considering the high content of impurity minerals and the hydrogeological conditions of kaolin occurrence in the studied deposits, it is advisable to use wet enrichment methods.

УДК 331.453

Ткачева Л.Т., кандидат технических наук, доцент;

Качанова И.В., магистрант;

Бренч М.В., старший преподаватель

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь*

СНИЖЕНИЕ ТРАВМАТИЗМА НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ НА ОСНОВЕ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ АУДИТОВ БЕЗОПАСНОСТИ

Аннотация. Рассмотрены порядок проведения и преимущества поведенческих аудитов безопасности как действенного инструмента для выявления и устранения опасного поведения работников, что приводит к снижению травматизма на рабочем месте.

Abstract. The procedure for conducting and advantages of behavioral safety audits as an effective tool for identifying and eliminating dangerous behavior of employees, which leads to a decrease in workplace injuries, was considered.

Ключевые слова. Безопасность, поведенческий аудит, анализ поведения, опасное поведение, снижение травматизма, аудитор, культура безопасности.

Keywords. Safety, behavioral audit, behavior analysis, dangerous behavior, injury reduction, auditor, safety culture.

По данным МОТ, основанным на многочисленных исследованиях, 96 % несчастных случаев на производстве происходит из-за опасных действий работников и всего 4 % из-за опасных условий. Анализ травматизма, представленный Департаментом государственной инспекции труда Республики Беларусь в 2023 году также показал, что удельный вес несчастных случаев, происшедших из-за нарушения трудовой дисциплины, требований нормативных правовых актов, технических нормативных правовых актов, локальных правовых актов по охране труда со стороны потерпевших, составляет 25,6 %. Следовательно, главным виновником травматизма является ни техника, ни технологический процесс, а сам работник,