

ТЭХНІЧНАЯ ХІМІЯ І ХІМІЧНАЯ ТЭХНАЛОГІЯ
TECHNICAL CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING

УДК 553.492

Поступила в редакцию 31.10.2016
Received 31.10.2016

Е. М. Дятлова, О. А. Сергиевич, Н. М. Бобкова

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

**СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДНЫХ И ОБОГАЩЕННЫХ КАОЛИНОВ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Аннотация. Представлены результаты ИК-спектроскопического исследования первичных каолинов белорусских месторождений «Ситница» и «Дедовка» в природном состоянии и обогащенном гидравлическим ситовым способом. Выявлены структурные особенности каолинов Республики Беларусь по сравнению с известным высококачественным каолином украинского месторождения «Просяновское», определены значения индекса кристалличности. Анализ ИК-спектров в высокочастотной области позволил установить формы связи воды в природном и обогащенном каолинах, наличие ОН-групп в межслоевом пространстве, внутри и на поверхности октаэдрического слоя, а также адсорбированных молекул воды, что может оказать влияние на реологические свойства каолиновых суспензий. В низкочастотной области сосредоточены полосы поглощения силикатных структур каолинов, а также интенсивные пики деформационных колебаний кварца, характерные для природных необогащенных каолинов белорусских месторождений. Исследование с помощью ИК-спектроскопии позволило установить структурные особенности природных каолинов, связанные с присутствием в первичных каолинах месторождений «Ситница» и «Дедовка» минерала каолинитовой 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 известным просяновским каолином (1,31).

Ключевые слова: каолин, месторождение «Ситница», месторождение «Дедовка», инфракрасная спектроскопия, пропускание, волновое число

Для цитирования. Дятлова, Е. М. Структурные особенности природных и обогащенных каолинов месторождений Республики Беларусь / Е. М. Дятлова, О. А. Сергиевич, Н. М. Бобкова // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2018. – Т. 54, № 1. – С. 96–102.

E. M. Dyatlova, O. A. Sergievich, N. M. Bobkova

Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

**INVESTIGATION OF STRUCTURAL FEATURES OF NATURAL AND ENRICHED KAOLINS
OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

Abstract. IR-spectroscopic results of study of primary kaolins of the Belarusian deposits «Sitnica» and «Dedovka» in a natural state and enriched by hydraulic sieve method are presented. The structural features of Belarusian kaolins as compared with known high-quality kaolin of Ukrainian deposits «Prosyanskoie» are revealed, the values of crystallinity index are determined. Analysis of IR-spectra in the high-frequency region allowed us to establish the water connection forms in natural and enriched kaolins, the presence of OH-groups in the interlayer space, inside and on the surface of the octahedral layer and adsorbed water molecules, which can affect the rheology of kaolin suspensions. Silicate absorption band of kaolin, as well as intense peaks of deformation vibrations of quartz, typical for unenriched natural kaolin of Belarusian deposits, are in the low-frequency region. Investigation using IR-spectroscopy made it possible to establish the structural features of natural kaolins related to the presence in the primary kaolin of the «Sitnitsa» and «Dedovka» deposits of the mineral of the kaolinite group of dickite. The crystallinity index values (according to Hinckley) are established for natural and enriched kaolins «Sitnica» (0.94 and 1.11) and «Dedovka» (0.98 and 1.04) in comparison with kaolins of Prosyanskoie deposit (1.31).

Keywords: kaolin, «Sitnica» deposit, «Dedovka» deposit, infrared spectroscopy, transmission, wave number

For citation. Dyatlova E. M., Sergievich O. A., Bobkova N. M. Investigation of structural features of natural and enriched kaolins of the Republic of Belarus by IR-spectroscopy. *Vesti Natsyional'noi akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Chemical series*, 2018, vol. 54, no. 1, pp. 96–102 (In Russian).

Введение. Каолины находят широкое применение в керамической отрасли в связи с тем, что введение их в керамические массы улучшает формовочные и реологические свойства, повышает механическую прочность изделий в воздушно-сухом и обожженном состоянии, термическую, химическую стойкость и белизну после обжига. Эти функции каолинового сырья обусловлены ценными особенностями их главного минерала каолинита и максимально проявляются при высокой однородности химического, минералогического и гранулометрического составов, что достигается его обогащением.

Известно, что каолинит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) является самым распространенным глинообразующим минералом, структура которого представляет собой пакет из тетра- и октаэдрических слоев открытого типа, что определяет высокую огнеупорность, химическую стойкость, белизну каолинов, и соответственно их широкое применение в строительной, медицинской, бумажной и других отраслях промышленности.

Материалы и методы исследования. На территории Беларуси имеются два наиболее значимых месторождения первичных каолинов: «Ситница» с суммарными запасами 2,53 млн т и «Дедовка» – 7,02 млн т.

Месторождение «Ситница» расположено в восточной части Лунинецкого района Брестской области. Каолины представляют собой кору выветривания гнейсов и гранитогнейсов, слагают пластообразную залежь, вытянутую с северо-запада на юго-восток на 2,5 км, а их мощность составляет 2,0–9,1 м (средняя 3,6 м). Залегают они под песчано-глинистыми отложениями мощностью 12,0–23,4 м. Макроскопически первичные каолины «Ситница» представляют собой глинистую породу серого цвета, жирную на ощупь, слабо хлоритизированную с крупными включениями полевошпатово-кварцевых обломков, чешуйками биотита, зернами кварца и полевого шпата. Восточная часть месторождения находится в пределах проектируемого карьера строительного камня, поэтому с целью попутной добычи каолина этот участок разведан достаточно детально [1].

Месторождение «Дедовка» расположено в западной части Житковичского района Гомельской области и представлено первичными и вторичными каолинами. Первичные каолины – кора выветривания гранитов Житковичского комплекса. Пластообразная залежь вытянута с юга на север на 620 м, ее мощность составляет 2,9–53,9 м, а глубина залегания – 29,7–37,4 м. Вскрыша представлена песчано-глинистыми отложениями. Вторичные каолины залегают в виде пласта среди глауконитокварцевых песков на глубине 28,3–33,0 м. Это породы желтовато-серой окраски с механическими примесями глауконитокварцевого песка, мусковита, полевого шпата и обломками кристаллических пород [1].

В результате комплексного исследования установлена взаимосвязь между химическим, минералогическим и гранулометрическим составами каолинов месторождений «Ситница» и «Дедовка», определены физико-химические и технологические характеристики в природном и обогащенном состоянии [2, 3].

Инфракрасные спектры поглощения образцов снимали на спектрофотометре Specord-IR-75 (Германия). Для проведения исследования готовили образцы в виде дисков, спрессованных из смеси порошкообразного бромида калия и тонкоизмельченного порошка исследуемого вещества при соотношении концентраций (300:1). Погрешность измерений составляет $\pm 0,2$ %. Обычно принятый интервал инфракрасного излучения находится в пределах $100\text{--}10000\text{ см}^{-1}$, тогда как область, представляющая интерес при изучении глин и каолинов, лежит между 400 и 4000 см^{-1} . Данные ИК-спектроскопии дают интересную информацию о внутренней структуре глинообразующих слоистых алюмосиликатов [4–6].

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 представлены ИК-спектры поглощения в области $400\text{--}4000\text{ см}^{-1}$ природного и обогащенного каолина «Ситница» (Республика Беларусь), а также известного просяновского каолина (Украина). При анализе ИК-спектров каолинов можно выделить две основные области. В первой высокочастотной (свыше 3000 см^{-1}) области находятся полосы валентных колебаний ОН-групп (*a*-полоса), связанных с октаэдрическими катионами, а также молекул воды, ассоциированных посредством водородных связей между слоями глинообразующих минералов. Во второй области ($400\text{--}1400\text{ см}^{-1}$) сосредоточены полосы поглощения силикатной структуры присутствующих минералов.

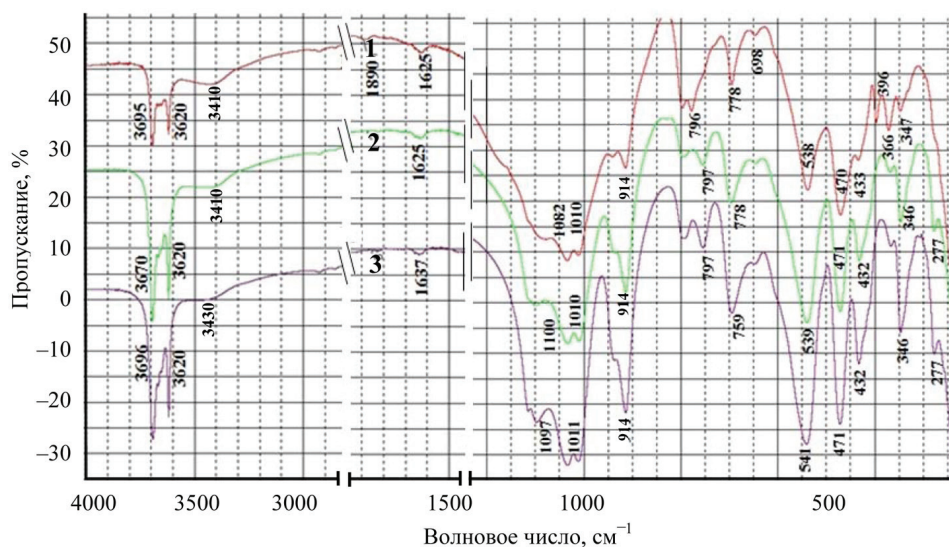


Рис. 1. Инфракрасные спектры поглощения каолинов месторождений: «Ситница» – 1 (природный); 2 (обогащенный); 3 – Просяновское

Fig. 1. Infrared spectra of kaolin deposits of the «Sitnica» deposit – 1 (primary); 2 (enriched); 3 – Prosyanyovskoye deposit

Как видно из рис. 1, на ИК-спектре просяновского каолина имеются четкие полосы поглощения при 3620 и 3695 см^{-1} . Внутренние ОН-группы, т. е. полностью окруженные атомами алюминия и кислорода внутри гиббситового (октаэдрического) слоя, имеют характеристические частоты валентных колебаний 3620 см^{-1} . Для групп ОН⁻, расположенных внутри, но у границы гиббситового слоя и способных образовывать водородные связи с прилегающим кремнеземистым (тетраэдрическим) слоем, характерны следующие частоты поглощения: 3695 , 3670 , 3650 см^{-1} . Именно эти полосы спектра чувствительны к возмущениям водородных связей, обусловленным смещениями в высокочастотной области, изоморфными замещениями в слое и другими факторами. В качестве количественного критерия для характеристики степени структурного совершенства каолинов (индекса Хинкли) используется отношение интенсивностей полос 3696 и 3620 см^{-1} , при этом было показано, что чем выше это отношение, тем совершеннее структура [7]. По экспериментальным данным индекс Хинкли для просяновского каолина составляет $1,31$, относительно высокое значение которого свидетельствует о довольно совершенной кристаллической структуре этого каолина.

Деформационные колебания связей Al–OH обуславливают тени (*c*-полоса) поглощения в области меньших частот. Для просяновского каолина она проявляется при 914 см^{-1} в виде единичного интенсивного пика. Адсорбированные молекулы воды в межпакетном пространстве слоистого минерала определяют поглощение в области 1637 – 1625 см^{-1} (деформационные колебания). По сравнению с просяновским каолином ИК-спектр поглощения природного каолина «Ситница» в высокочастотной области отличается более низкой интенсивностью полос при 3695 и 3620 см^{-1} , а также размытой полосой при 3400 – 3500 см^{-1} . Это свидетельствует об уменьшении энергии связей ОН-групп с поверхностью каолинита. Индекс кристалличности для природного каолина «Ситница» составляет $0,94$, кроме того, на ИК-спектре природного каолина имеется малоинтенсивная полоса поглощения при 1890 см^{-1} , идентификация которой затруднена, поскольку отсутствуют необходимые данные.

Деформационные колебания связей Al–O–H в природном каолине проявляются значительно слабее, что подтверждается уменьшением интенсивностей пиков в области низких частот (914 см^{-1}). Такие отличия ИК-спектров природного каолина «Ситница» обусловлены меньшей концентрацией Al_2O_3 и наличием в нем большого количества примесей, что оказывает влияние на характер связи ОН-групп как внутри октаэдрического слоя, так и на его поверхности, что проявляется в изменении соотношения гидроксильной и кислородной форм связей между слоями каолинита.

Анализируя ИК-спектр обогащенного каолина «Ситница», можно отметить, что в области высоких частот он практически идентичен спектру просяновского каолина, при этом отношения интенсивностей пиков при 3670 и 3620 см^{-1} отличаются незначительно ($1,31$ – просяновский каолин, $1,11$ – обогащенный каолин «Ситница»), что свидетельствует о близости показателей их степени кристалличности.

Как известно [5, 6, 8], полосы поглощения силикатной структуры каолинов сосредоточены в низкочастотной области с волновым числом в пределах $300\text{--}1400\text{ см}^{-1}$. Валентные колебания вдоль связи Si–O вызывают поглощение в области $800\text{--}1300\text{ см}^{-1}$, а деформационные – при $500\text{--}400\text{ см}^{-1}$. Положение максимумов поглощения в области $800\text{--}1300\text{ см}^{-1}$ зависит от степени полимеризации тетраэдров $[\text{SiO}_4]$. Чем больше степень связности тетраэдров друг с другом, тем в более высокочастотной области будет находиться основной максимум. В ряду по мере «конденсации» тетраэдров $[\text{SiO}_4]$, а именно изолированные $[\text{SiO}_4] \rightarrow$ группы $[\text{Si}_2\text{O}_7] \rightarrow$ цепи $[\text{SiO}_3] \rightarrow$ слои $[\text{Si}_2\text{O}_5] \rightarrow$ трехмерные каркасные структуры, максимумы поглощения смещаются в сторону более высоких частот [4].

Как видно из рис. 1, образцы вышеуказанных каолинов имеют широкую полосу поглощения в области $950\text{--}1150\text{ см}^{-1}$ с пиками при 1010 и 1100 см^{-1} , что можно классифицировать как валентные колебания связей Si–O–Si в дисиликатных группах слоистой структуры. Для природного каолина «Ситница» полоса поглощения с дуплетом при 797 и 778 см^{-1} более размыта и значительно шире вследствие наличия большого количества примесного кварца. На ИК-спектрах просяновского каолина и обогащенного каолина «Ситница» присутствует один пик при 797 см^{-1} , второй пик при 778 см^{-1} сдвигается для просяновского каолина в низкочастотную область (759 см^{-1}), что, вероятно, можно объяснить наличием трехчленных колец из тетраэдров $[\text{SiO}_4]$, а также структурных группировок $[\text{AlO}_4]$, образующихся при замещениях в тетраэдрическом слое катиона кремния [6].

Полосы поглощения в низкочастотной области с хорошо выраженными пиками при 432 , 470 , 540 см^{-1} обусловлены деформационными колебаниями связей Si–O–Si. Они присутствуют на ИК-спектрах всех исследованных каолинов, но для природного каолина «Ситница» эти пики менее интенсивны. Кроме того, следует отметить, что при замещении в октаэдрическом слое иона Al^{3+} на Me^{2+} полоса поглощения $541\text{--}538\text{ см}^{-1}$ (Si–O–Al) будет претерпевать уменьшение по интенсивности и снижение по частоте за счет изменения расстояния Me–O–Si и уменьшения силы связи, что наблюдается на ИК-спектре для природного каолина «Ситница». Интенсивные полосы поглощения 396 и 366 см^{-1} характерны только для природного каолина «Ситница» и связаны с O–Si–O деформационными колебаниями его примесной составляющей – кварца.

Как показали ранее проведенные исследования, каолин месторождения «Дедовка» отличается от каолина «Ситница» по химико-минералогическому и гранулометрическому составам, что обусловлено его структурными особенностями, которые могут быть исследованы с помощью ИК-спектроскопии. На рис. 2 представлены ИК-спектры поглощения природного и обогащенного каолина «Дедовка» (Республика Беларусь). Анализ ИК-спектров (рис. 2) и литературных данных [7] показывает, что каолин «Дедовка» как природный, так и обогащенный в области OH-валентных колебаний обнаруживает сильные полосы поглощения 3696 и 3620 см^{-1} , имеющие сходную интенсивность. Полоса 3696 см^{-1} была отнесена к внутриверхностным OH-группам, образующая межпакетные OH–O-связи; полоса 3620 см^{-1} , являющаяся общей, – к внутренним OH-группам. Эти группы менее доступны для OH-обмена, поскольку находятся в межслоевом пространстве двухформного пакета каолинита.

Для каолина «Дедовка» очевидно закономерное повышение отношения I_{3696}/I_{3620} (по Хинкли) от $0,98$ до $1,04$ при переходе от природного к обогащенному виду, для каолина «Ситница» – $0,94$ и $1,11$ соответственно, при этом показатель индекса кристалличности менее единицы говорит о несовершенности структуры природных каолинов белорусских месторождений и наличии других минералов каолиновой группы. По литературным данным [7], ИК-спектр галлуазита, представляющего собой кристаллы удлиненной формы беспорядочной структуры со слоями, свернутыми в трубки, совершенно очевидно отличается от спектра каолинита. Его отсутствие подтверждается электронно-микроскопическими снимками каолинов Республики Бела-

реть. Наличие другого, более близкого по строению минерала каолиновой группы диккита, отличающегося от каолинита взаимным расположением слоев в структуре с периодом в два слоя, в смеси может быть определено по отношению между глубиной полос поглощения гидроксильных групп (пики 3696 и 3620 cm^{-1}). С учетом значений показателя степени кристалличности в каолинах «Ситница» и «Дедовка» по сравнению с просяновским каолином помимо каолинита может присутствовать диккит в небольших количествах; данные минералы каолиновой группы отличаются между собой формой связи ОН–О между пакетами диформной структуры. Для обогащенных каолинов характерна более совершенная структура, представленная в основном каолинитом с расположением слоев с периодом в один слой [9].

Деформационные колебания связей Al–O–OH при 914 cm^{-1} в природном каолине «Дедовка» обуславливают более слабое поглощение по сравнению с обогащенным каолином при 913 cm^{-1} , что подтверждается уменьшением интенсивностей пиков. Наличие дуплета при 913–930 cm^{-1} типично для диккита, что также подтверждает его наличие в природных каолинах «Ситница» и «Дедовка» (рис. 1, 2). Гидроксильные ОН-группы, связанные с октаэдрическим катионом Al^{3+} в структурные гидросиликаты, и которые могут иметь преобладающее влияние на свойства поверхности необогащенного каолина «Дедовка», характеризуются поглощением при 920–926 cm^{-1} (рис. 2).

Исследуемый каолин «Дедовка» в природном и обогащенном состоянии имеет широкую полосу поглощения в области 950–1150 cm^{-1} с пиками при 1009, 1033 и 1100 cm^{-1} , что можно классифицировать как валентные колебания связей Si–O–Si в дисиликатных группах слоистой структуры. Кремнийкислородная связь существенно отличается от простой ионной связи между металлом и кислородом, поэтому тетраэдры $[\text{SiO}_4]$ – это не только геометрическая картина пространственного окружения атома кремния четырьмя атомами кислорода, но и комплексный ион, структурная единица, упаковка которых вместе с атомами металлов определяет общее строение силикатов [7].

На ИК-спектрах обогащенного каолина «Дедовка» присутствуют два пика – 794 и 755 cm^{-1} , которые можно объяснить наличием трехчленных колец из тетраэдров $[\text{SiO}_4]$ и структурных группировок $[\text{AlO}_4]$, образующихся при замещении катиона кремния. Сложность полос ИК-спектров объясняется тем, что объединение кремнийкислородных тетраэдров в кольцевые, цепочечные и другие радикалы приводит к частичному искажению тетраэдров и понижению

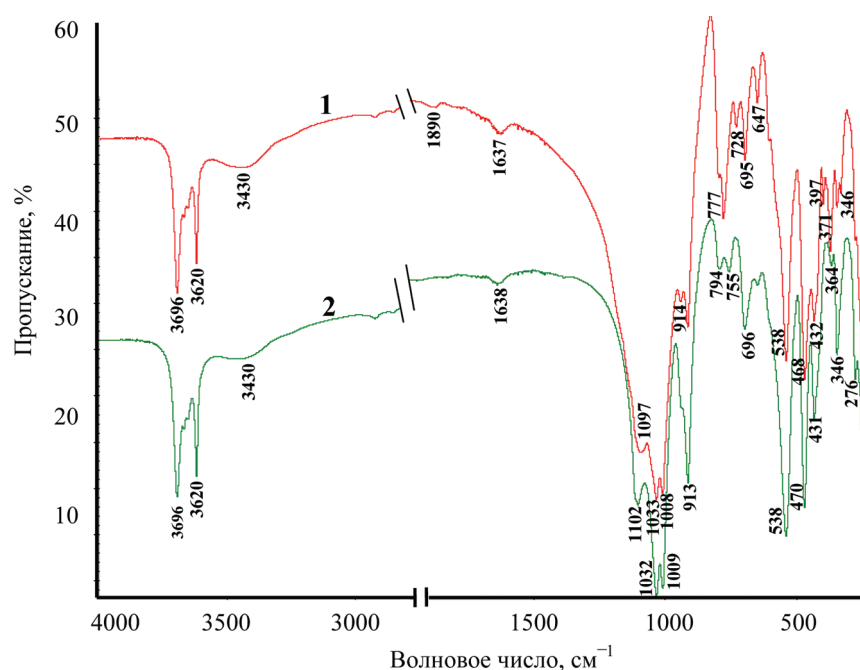


Рис. 2. Инфракрасные спектры поглощения каолина месторождения «Дедовка»: 1 – природный; 2 – обогащенный

Fig. 2. Infrared spectra of kaolin deposits of «Dedovka» deposit: 1 – primary; 2 – enriched

их симметрии. Большая прочность кремнийкислородных радикалов не делает их жесткими, наоборот, они отличаются большой приспособляемостью к габитушно-минералогическим предпосылкам, создаваемым другими элементами структуры, что приводит к их значительному искажению. Для природного каолина «Дедовка» полосы поглощения при 728 и 777 см^{-1} сдвинуты вправо и значительно интенсивнее вследствие фундаментальных колебаний связей Si–O–Si различного типа симметрии в кремнийкислородном тетраэдре.

Особый интерес представляют для каолина «Дедовка» полосы поглощения 538 и 470 см^{-1} , обусловленные разной длиной связи Me^{3+} –(O–Si) для Al^{3+} и Fe^{3+} : их частота возрастает с увеличением радиуса трехвалентного катиона и более интенсивно они выражены для обогащенного каолина. В данном случае приходится иметь дело не с Me^{3+} –O-колебаниями, а с Me^{3+} –(O–Si), так как связь между ионом Si^{4+} и кислородом более сильная и ковалентная, чем связь Me^{3+} –O и Me^{2+} –O. При наличии примесных ионов Fe^{2+} и Mg^{2+} с близкими значениями ионных радиусов, благодаря низкой поляризующей силе этих ионов, образующиеся связи Me^{2+} –(O–Si) имеют большие расстояния, что проявляется полосами поглощения в низкочастотной области 430 и 346 см^{-1} (рис. 2) [7]. Интенсивные полосы поглощения 695, 397 и 370 см^{-1} характерны только для природного каолина «Дедовка» и связаны с O–Si–O деформационными колебаниями его примесной составляющей – кварца.

Заключение. ИК-спектроскопическое исследование природных и обогащенных каолинов месторождений «Ситница» и «Дедовка» позволило установить их отличительные особенности, заключающиеся в несовершенстве их кристаллических структур. Использование отечественных каолинов для получения керамических материалов различного назначения пониженной себестоимости является актуальным направлением в связи с расширением собственной сырьевой базы Республики Беларусь.

Список использованных источников

1. Каолины / В. А. Вечер [и др.] // Полезные ископаемые Беларуси : к 75-летию Белорус. науч.-исслед. геологразведоч. ин-та / Л. Ф. Ажгиревич [и др.] ; редкол. : А. М. Синичка (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2002. – С. 323–327.
2. Особенности химико-минералогического состава и свойства каолинов белорусских месторождений / О. А. Сергиевич [и др.] // Стекло и керамика. – 2012. – № 3. – С. 25–31.
3. Сергиевич, О. А. Особенности гранулометрического и минералогического составов каолинов месторождений Республики Беларусь / О. А. Сергиевич // Строительные материалы. – 2012. – № 8. – С. 17–19.
4. Левицкий, И. А. ИК-спектры и кривые ДТА сырьевых и силикатных материалов: учеб. пособие / И. А. Левицкий, Н. М. Бобкова, Е. М. Дятлова. – Минск : БГТУ, 1999. – 52 с.
5. Инфракрасная спектроскопия : текст лекций / Е. С. Бойчинова [и др.]. – Л. : ЛТИ, 1989. – 53 с.
6. Уорелл, У. Глины и керамическое сырье / У. Уорелл ; пер. с англ. П. П. Смолина ; под ред. В. П. Петрова. – М. : Мир, 1978. – 237 с.
7. Плюснина, И. И. Инфракрасные спектры силикатов / И. И. Плюснина. – М. : МГУ, 1967. – 189 с.
8. Оценка степени преобразования кварцитов методом инфракрасной спектроскопии / М. В. Коровкин [и др.] // Изв. Том. политехн. ун-та. – 2012. – Т. 320, № 1. – С. 16–18.
9. Брэгг, У. Л. Кристаллическая структура минералов / У. Л. Брэгг, Г. Ф. Кларингбулл ; предисл. В. А. Франк-Каменецкого. – Науки о Земле. Фундаментальные труды зарубежных ученых по геологии, геофизике и геохимии; т. 1. – М.: Мир, 1967. – 390 с.

References

1. Vecher V. A., Davydov M. N., Dashkevich V. P., Levyi M. G., Mokh O. P., Chuiko D. G., Nikitin E. A., Khomich P. Z., Linnik I. A., “Kaolins”, in Azhgirevich L. F., Bambalov N. N., Belen’kii S. G., Sinichka A. M., *Poleznye iskopaemye Belarusi : k 75-letiiu Belorus. nauch.-issled. geolograzvedoch. in-ta* [Mineral resources of Belarus: to the 75th anniversary of the Belarusian Scientific-Research Geological Prospecting Institute], in Sinichka A. M. (ed.), *Adukatsyia i vykhavanne*, Minsk, BY, 2002, pp. 323–327.
2. Sergievich O. A., Diatlova E. M., Malinovskii G. N., Barantseva S. E., Popov R. Iu., “Features of the chemical-mineralogical composition and properties of kaolins of Belarusian deposits”, *Steklo i keramika* [Glass and ceramics], 2012, no. 3, pp. 25–31.
3. Sergievich O. A., “Features of the granulometric and mineralogical compositions of kaolin deposits of the Republic of Belarus”, *Stroitel'nye materialy* [Building materials], 2012, no. 8, pp. 17–19.
4. Levitskii I. A., Bobkova N. M., Diatlova E. M., *IK-spektry i krivye DTA syr'evykh i silikatnykh materialov: ucheb. posobie* [IR spectra and curves of DTA raw and silicate materials: textbook allowance], Belorusskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet, Minsk, BY, 1999.

5. Boichinova E. S., Brynzova E. D., Zorin B. Ia., Mokhov A. A., Smirnova V. I., Timofeeva V. N., *Infrakrasnaia spektroskopiiia : tekst lektsii* [Infrared spectroscopy: the text of lectures], Leningradskii tekhnologicheskii institute, Leningrad, RU, 1989.

6. Worrall W. E., *Gliny i keramicheskoe syr'e* [Clays and ceramic raw materials], Translated by Smolin P. P., Mir, Moscow, RU, 1978.

7. Pliusnina I. I., *Infrakrasnye spektry silikatov* [Infrared spectra of silicates], Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, Moscow, RU, 1967.

8. Korovkin M. V., Anan'eva L. G., Antsiferova A. A., "Estimation of the degree of conversion of quartzites by the method of infrared spectroscopy", *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* [Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Engineering of geo-resources], 2012, vol. 320, no. 1, pp. 16–18.

9. Bragg W. L., Claringbull G. F., *Kristallicheskaia struktura mineralov* [Crystal structures of minerals], Translated by Aleksandrov V. B., Dmitrieva M. T., Drits V. A., Organova N. I., Soboleva S. V., Mir, Moscow, RU, 1967, Ser. Nauki o Zemle. Fundamental'nye trudy zarubezhnykh uchenykh po geologii, geofizike i geokhimii , t. 1 [Earth sciences. Fundamental works of foreign scientists on geology, geophysics and geochemistry, vol. 1].

Информация об авторах

Дятлова Евгения Михайловна – канд. техн. наук, доцент, Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220050, Минск, Республика Беларусь). E-mail: keramika@belstu.by

Сергиевич Ольга Александровна – канд. техн. наук, науч. сотрудник, Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220050, Минск, Республика Беларусь). E-mail: topochka.83@mail.ru

Бобкова Ниннель Мироновна – д-р техн. наук, профессор, Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220050, Минск, Республика Беларусь). E-mail: keramika@belstu.by

Information about authors

Evgenia M. Dyatlova – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., 220050, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: keramika@belstu.by

Olga A. Sergievich – Ph. D. (Engineering), Researcher, Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., 220050, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: topochka.83@mail.ru

Ninnel M. Bobkova – D. Sc. (Engineering), Professor, Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., 220050, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: keramika@belstu.by