

Оригинальная статья / Original article

УДК 622.142

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2019-42-2-221-229>

Оценка эффективности методов рентгеноструктурного анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии при анализе глинистых минералов

© Нгуен Нгок Нам^a, Лай Тхи Биск Тхуй^b, Фам Динь Ан^c

^{a,b}Центр геологических испытаний и анализа, г. Ханой, Вьетнам

^cИркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Резюме: Целью данной статьи является оценка эффективности двух методов: рентгеноструктурного анализа (РСА) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) при исследовании глинистых минералов. Глинистые минералы имеют маленький размер частиц, поэтому использование РСА и ДСК в исследовании их минерального состава считается наиболее эффективным. В настоящее время качественный анализ некоторых минералов каолиновой группы затруднен, поэтому авторы представляют анализы минерального состава трех различных глинистых грунтов: VN 01 (Вьетнам), Laos 02 (Лаос), NZ 03 (Новая Зеландия). Исследования показывают, что использование метода РСА является эффективным как в качественном анализе, так и в выявлении различий между минералами, однако дифракционный пик каолинита и диккита относительно одинаковый, поэтому опознавание минералов затруднено. При этом метод ДСК легко выявляет пары минералов каолинита и диккита или диккита и галлуазита благодаря различиям эндотермического эффекта. Так как минералы каолинит и галлуазит имеют одинаковый эндотермический эффект 530–590 °С, их распознавание методом ДСК считается трудным. Метод РСА эффективен в качественном анализе глинистых минералов в целом и минералов группы каолинита в частности; этот метод также эффективен при идентификации двух минералов: каолинита и галлуазита, что невозможно сделать с помощью метода ДСК. Однако опознавание двух минералов – диккита и каолинита – методом РСА в некоторых случаях затруднено. Для улучшения эффективности анализа глинистых грунтов для других объектов исследования и оценки качества каолина или очень тонкодисперсного минерала предлагается совместное использование методов РСА и ДСК.

Ключевые слова: метод рентгеноструктурного анализа, метод дифференциальной сканирующей калориметрии, глинистые минералы, кристаллизация, экзотермический эффект, эндотермический эффект

Информация о статье: Дата поступления 27 февраля 2019 г.; дата принятия к печати 28 марта 2019 г.; дата онлайн-размещения 27 июня 2019 г.

Для цитирования: Нгуен Нгок Нам, Лай Тхи Биск Тхуй, Фам Динь Ан. Оценка эффективности методов рентгеноструктурного анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии при анализе глинистых минералов. *Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых*. 2019. Т. 42. № 2. С. 221–229. DOI: 10.21285/2541-9455-2019-42-2-221-229.

Effectiveness evaluation for X-ray diffraction and differential scanning calorimetry methods in the study of clay minerals

© Nguyen Ngoc Nam^a, Lai Thi Bich Thuy^b, Pham Dinh An^c

^{a,b}Center for Geological Experiment Analysis, Hanoi, Vietnam

^cIrkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract: The aim of the study is to evaluate the effectiveness of X-ray diffraction analysis (XRD) and differential scanning calorimetry (DSC) used in the study of clay minerals. Due to the small particle size of clay minerals, XRD and DSC are considered most effective research methods. As a qualitative analysis for some kaolinite minerals is still a challenge, the authors present the results of a mineral composition analysis for three types of clays,

i.e. VN 01 (Vietnam), Laos 02 (Laos) and NZ 03 (New Zealand) in order to evaluate the effectiveness of the two above-mentioned methods. The results show that the XRD method appears to be relatively effective in a qualitative analysis as well in distinguishing kaolinite and dickite from halloysite. As the diffraction peaks of kaolinite and dickite are quite close, it is difficult to differentiate between the two minerals, while kaolinite-dickite or dickite-halloysite pairs are easily distinguished by DSC due to their different endothermic effects. Kaolinite and halloysite have identical endothermic effects ranging from 530°C to 590°C which makes it difficult to differentiate between them using DSC. XRD method is effective in a qualitative analysis of clay minerals in general, and of kaolinite minerals in particular. It is also effective when distinguishing between kaolinite and halloysite, which is impossible when using DSC; though it is of a limited effectiveness when differentiating dickite and kaolinite. To improve the effectiveness of clay analysis for other research objects and to evaluate the quality of kaolin or other high-disperse minerals, combination of XRD and DSC methods is suggested.

Keywords: X-ray diffraction analysis, differential scanning calorimetry method, clay minerals, crystallization, exothermic effect, endothermic effect

Information about the article: Received February 27, 2019; accepted for publication March 28, 2019; available online June 27, 2019.

For citation: Nguyen Ngoc Nam, Lai Thi Bich Thuy, Pham Dinh An. Effectiveness evaluation of X-ray diffraction and differential scanning calorimetry methods in the study of clay minerals. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya seksii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* = *Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits*, 2019, vol. 42, no. 2, pp. 221–229. (In Russ.) DOI: 10.21285/2541-9455-2019-42-2-221-229.

Введение

Каолин является не только важным глинистым грунтом при геологических исследованиях, но и необходимым материалом при производстве керамики, красок, резиновых, косметических изделий и т. д. [1–4]. Минералы группы каолинита имеют подобную химическую формулу, твердость, расцветку и прочее.

Если каолинит является распространенным минералом в природной среде, то диккит и накрит встречаются редко, их находят в гидротермальных месторождениях. Галлуазит – относительно чистый минерал и также очень редко встречается в природе [1, 3, 5–9].

Опознавание этих минералов вызвало некоторые трудности как в лабораторных условиях, так и в природной среде из-за того, что они имеют маленький размер частиц. В лаборатории авторы проводили исследование типичных глинистых минералов: каолинита (Вьетнам), диккита (Лаос), галлуазита (Новая Зеландия). С целью оценки эффективности методов исследования перечисленных выше глинистых минералов были использованы два современных метода:

рентгеноструктурный анализ (РСА) и метод дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК).

Методы исследования

Для исследования были выбраны три типичных для этих мест глинистых образца: 1 – глина VN 01 (Вьетнам), 2 – глина Laos 02 (Лаос), 3 – глина NZ 03 (Новая Зеландия). Среди них первый является высококачественным каолином из Вьетнама, содержащим много каолинита; второй – глиной из Лаоса, содержащей много диккита; третий – глиной из Новой Зеландии, содержащей много галлуазита (Новая Зеландия считается ведущей страной в исследовании, добыче и переработке галлуазита).

Перечисленные минералы имеют одинаковый химический состав, расцветку, твердость и т. д., хотя они обладают различными свойствами кристаллической решетки, например, каолинит имеет триклинную сингонию, а диккит – моноклинную сингонию. Кристаллы каолинита и диккита имеют пластинчатую форму, а кристаллы галлуазита – цилиндрическую. Из-за мелкого и раздробленного зерна их трудно дифференцировать и опознавать.

Авторы использовали методы PCA и ДСК для идентификации минералов. Опыт проводился на рентген-дифракционном устройстве Roentgen-D8-Advance и на дифференциальном сканирующем калориметрическом оборудовании STA-PT-1600 в Центре геологических испытаний и анализа (г. Ханой, Вьетнам). Кроме этого, авторы использовали рентгеновский флуоресцентный анализ (РФА) с целью противопоставления результатов. При выполнении анализа методом PCA образец сушится при температуре 40 °С, потом дробится и просеивается до размера менее 0,074 мм. Анализ проводится на устройстве D8 Advance (Bruker) с лучеиспусканием $\text{Cu}(\text{K}\alpha_{1,2})$. Режим работы устройства: напряжение – 35 кВ, сила тока – 35 мА, время остановки – 3 с, диапазонное сканирование – 5–60°. Результаты анализа обрабатывались по программе Diffracplus Evaluation на системных данных ICDD/JCPDS для определения минералов [10].

Анализ ДСК проводился на образце с размером частиц менее 0,074 мм. Образец сушится примерно один час при температуре 60 °С с помощью устройства STA-PT1600 (Linseis), работающего с силой тока 3,5 кВА. Условие проведения опыта: образец массой 200 мг засыпается в фарфоровую чашку и прогревается при температуре 30 °С до 1000 °С в среде N_2 , скорость прогрева – 20 °С/мин с эталонным образцом Al_2O_3 . Полученные данные обрабатываются с помощью программы LINSEIS/TA-WIN. Эндотермический эффект, полученный на диаграмме ДСК, сравнивался со стандартной термической диаграммой Аужуитнань (2001 г.) и Földvári (2011 г.), что позволило нам определить качественный состав минералов в образце.

Рентгеноструктурный анализ проводился с итоговым образцом. Образец измельчается до размера менее 0,074 мм и сушится при температуре

35–40 °С, затем его перемешивают с поливиниловым спиртом и сжимают в брикет. Для этого была использована машина ARLADVANT' XP (Thermoscientific), работающая с силой тока 30–80 мА и напряжением 30–50 кВ.

Результаты исследования и их обсуждение

На рентгеноструктурной диаграмме видно, что в образце VN 01 кроме типичных дифракционных пиков каолинита 7,19; 3,58; 2,34 Å есть еще иллит с дифракционными пиками (10; 4,48; 3,34 Å). Диккит и каолинит имеют много похожих дифракционных пиков у 7,2; 3,58; 2,32 Å в образце Laos 02. Особенно дифракционные пиками 7,36; 4,44; 3,61 Å характеризуют метагаллуазит или галлуазит 7 Å, с дифракционными пиками легко опознаваем галлуазит по отношению к остальным минералам – каолиниту и диккиту (рис. 1). Результаты метода PCA показывают, что можно легко опознавать галлуазит благодаря тому, что этот минерал имеет специфический дифракционный пик по сравнению с другими минералами.

Результаты анализа показывают, что эндотермический эффект диккита сильно отличается от эффекта каолинита в интервале 500–700 °С (рис. 2). Эндотермический эффект каолинита (VN 01) происходит около 500 °С и достигает максимального значения T_{max} , равного 580 °С. Эндотермический эффект диккита (Laos 02) (см. рис. 2) появился в интервале 600–700 °С, и максимальное его значение приходится на 700 °С. Кроме того, образец NZ 03 содержит много галлуазита, поэтому значение эндотермического эффекта этого минерала меньше, чем у диккита с интервалом 530–590 °С, и максимальное значение T_{max} равно приблизительно 580 °С, что совпадает со значением эндотермического эффекта каолинита. Таким образом, среди трех данных минералов диккит имеет самый явный эндотермический эффект, поэтому он легко опознаваем.

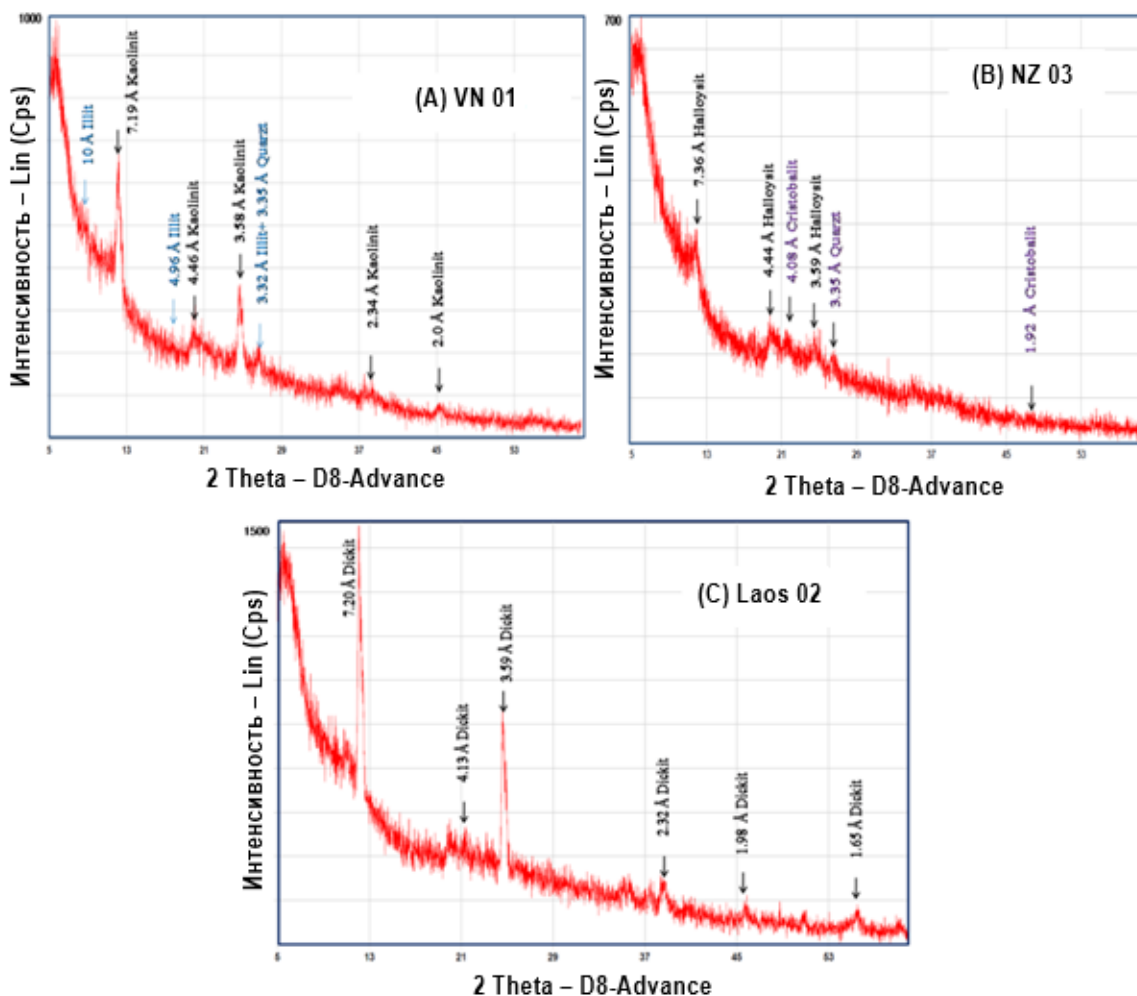


Рис. 1. Диаграмма РСА (по вертикали – интенсивность излучения, по горизонтали – шаг измерения) с образцами:

A – VN 01 (каолинит, Вьетнам); B – NZ 03 (галлуазит, Новая Зеландия); C – Laos 02 (диккит, Лаос)

Fig. 1. XRD chart (vertical – radiation intensity, horizontal – measurement step) for samples:

A – VN 01 (kaolinite, Vietnam); B – NZ 03 (halloysite, New Zealand); C – Laos 02 (dickite, Laos)

Нами были проанализированы результаты РФА в неметаллической лаборатории Центра геологических испытаний и анализа (таблица).

Результаты анализа двумя методами – РСА и ДСК – показывают, что три образца принадлежат к группе каолинита.

Оценка совмещения рассматриваемых методов при анализе минералов группы каолинита

Группа каолинита включает четыре основных минерала: каолинит, накрит,

диккит и галлуазит. Они имеют структуру 1:1, то есть каждая структура каолинита образуется прослойкой – четырехгранной и восьмигранной (рис. 3). Идеальная химическая формула каолинита, диккита и накрита – $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. Отличие других минералов в группе заключается в том, что кристаллическая решетка галлуазита взаимодействует с водой и связывается с ней; его идеальная формула: $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, его идеальная химическая формула: SiO_2 – 46,54 %; Al_2O_3 – 39,5 % и H_2O – 13,95 % [5].

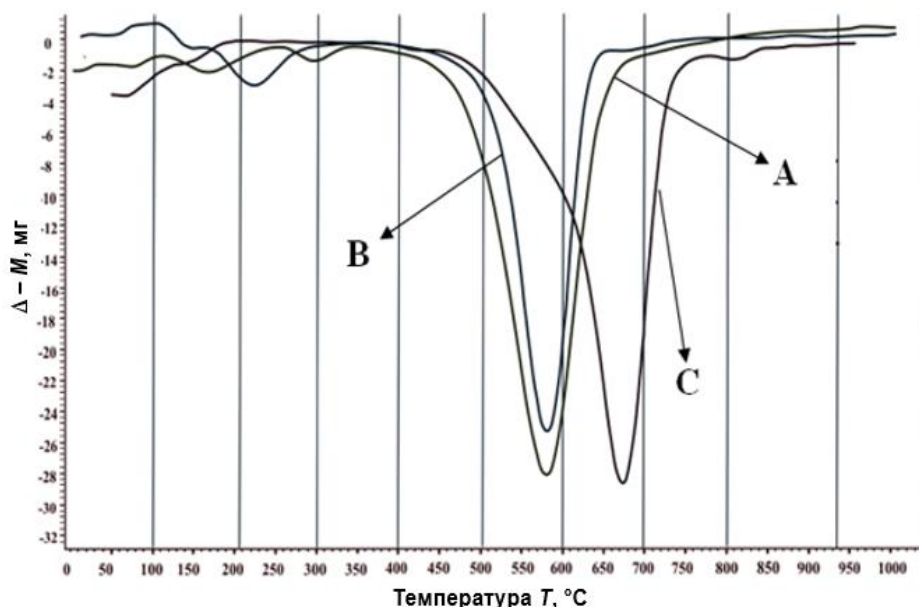


Рис. 2. Термическая диаграмма:

A – VN 01 (каолинит, Вьетнам); B – NZ 03 (галлузит, Новая Зеландия); C – Laos 02 (диккит, Лаос)

Fig. 2. Thermal diagram:

A – VN 01 (kaolinite, Vietnam); B – NZ 03 (halloysite, New Zealand); C – Laos 02 (dickite, Laos)

Состав образцов при рентгеновском флуоресцентном анализе Sample composition by fluorescence analysis

Номер образца	Состав, %										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
VN 01	46,5	38,5	0,09	0,43	0,25	0,21	1,05	0,17	0,046	0,06	13,38
Laos 02	44,32	39,68	0,06	0,1	0,23	0,23	0,01	0,36	0,035	0,1	13,92
NZ 03	48,1	35,6	0,15	0,33	0,15	0,12	0,01	0,38	0,068	0,06	14,16

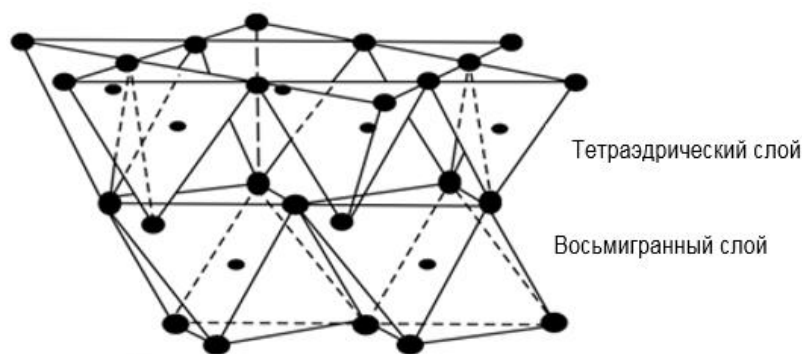


Рис. 3. Моделирование структуры кристалла глинистого минерала типа 1:1

Fig. 3. Structure modeling for a clay mineral crystal, type 1:1

Особенностью каолинита является отсутствие между частицами прослойки благодаря устойчивости водородной связи между гидроксильными группами прослойки восьмигранных и прослойки

четырёхгранных кристаллов, что уменьшает процесс гидратации, а также отсутствие явления набухания при взаимодействии с водой. Диккит отличается от каолинита наличием в его составе прослоек

кристаллов от четырехгранных до восьмигранных. А у кристалла галлуазита при гидратации появляется явление деформации или суперпозиции у узлов кристаллической решетки, что создает цилиндрический кристалл [7]. Хотя структура галлуазита похожа на структуру каолинита, у него есть еще одна прослойка воды (2,9 Å) [5]. Из-за этого расстояния в кристаллической решетке галлуазита увеличиваются и достигают 10 Å, однако, когда происходит водопотеря и кристалл галлуазита подвергается усадке, расстояние в кристаллической решетке уменьшается до 7,2 Å. Поэтому Международный комитет по номенклатуре рекомендует разделять галлуазит на две группы: метагаллуазит 7 Å и галлуазит 10 Å [5]. Комплексные и детальные значения Å характеризуют каолинит – 7,17; 3,58; 1,49; диккит – 7,15; 3,58; 2,32; галлуазит 10 Å – 10; 4,36; 3,35 и метагаллуазит 7 Å – 7,3; 4,42; 3,62.

Эффективность

рассматриваемых методов

Кривая ДСК каолинита и диккита показывает, что эндотермический эффект двух минералов отличается в пределах 100 °С [11–14]. Эндотермический эффект каолинита происходит в интервале 530–590 °С и характеризует процесс кристаллизации, а его экзотермический эффект 970 °С характеризует процесс образования муллита и каолинита. Причем, хотя диккит имеет одинаковую химическую формулу с каолинитом, он имеет эндотермический эффект выше, чем каолинит. Его эндотермический эффект появился в интервале 600–700 °С, а его интенсивный экзотермический эффект составляет 1011 °С. Однако в аналитическом образце экзотермическое явление каолинита, диккита и галлуазита не наблюдается.

По результатам анализа диккита образца Laos 02 (похожего на диккит Ямайки) имеется отчетливый эндотермический эффект с двумя довольно симметричными ветвями параболы,

острой вершиной, T_{max} около 700 °С, а также очень хорошая степень кристаллизации [15].

Среди приведенных минералов каолинит имеет наибольшее распространение. Каолинит, встречающийся обычно на месторождениях Танмай (Куангнинь) (или каолин – Тхакхоанг (Футхо)), обладает безукоризненной характеристикой кристаллизации, вершина эндотермического эффекта $T_{max} > 570$ °С. Процесс для муллита проходит быстро, интенсивно, поэтому амплитуда эндотермического эффекта большая, вершина острая. Кристаллизация каолинита дает T_{max} в интервале 500–560 °С, а каолинит с плохой кристаллизацией обычно встречается на месторождениях осадочного каолина с меньшим эндотермическим эффектом, $T_{max} < 500$ °С, экзотермический эффект находится в интервале 900–1000 °С обычно с маленькой амплитудой, вершина не острая [11]. Таким образом, мы можем говорить, что минерал каолинит образца VN 01 имеет очень хорошую степень кристаллизации.

Хотя метод ДСК имеет много преимуществ, он обладает и некоторыми недостатками. Например, трудно опознавать галлуазит и каолинит из-за их одинакового эндотермического эффекта в интервале 530–590 °С и экзотермического эффекта в интервале 900–1000 °С, их отличие только в том, что галлуазит имеет еще эффект дегидратации при 150 °С, однако это совпадает с эндотермическим эффектом иллита.

Кроме того, с помощью метода РСА опознавание галлуазита и каолинита или галлуазита и диккита происходит достаточно легко, потому что галлуазит имеет типичные дифракции 7,36; 3,44; 3,61 Å, а дифракционный пик каолинита – 7,17; 3,58; 1,49 Å (см. рис. 1). Также на диаграмме дифракций видно, что галлуазит в образце характеризуется тремя параметрами – 7,36; 4,44; 3,61 Å, и мы можем говорить, что галлуазит в образце

NZ 03 потерял воду, а кристалл галлуазита существует в виде метагаллуазита 7 Å, а не галлуазита 10 Å. Хотя метод РСА эффективен в этом случае, опознавание двух минералов – диккита и каолинита – методом РСА затруднено, если поверхности образца каолинита слабо выражены.

Заключение

Результаты анализа показывают, что метод РСА эффективен в качественном анализе глинистых минералов в целом и минералов группы каолинита в частности; этот метод также эффективен в опознавании двух минералов – каолинита и галлуазита, что невозможно сделать методом ДСК. Однако опознавание двух минералов – диккита и каолинита – методом РСА в некоторых случаях затруднено.

Метод ДСК имеет множество преимуществ: он не только помогает анализировать, качественно и точно распознавать содержание двух минералов – диккита и каолинита или диккита и галлуазита, но и позволяет оценивать степень кристаллизации этих минералов. В то же время применение этого метода ограничено при распознавании двух минералов – каолинита и галлуазита – из-за их одинакового эндотермического эффекта.

Таким образом, если совмещать оба метода – РСА и ДСК, улучшается эффективность анализа и оценки качества минералов каолиновой группы очень тонкодисперсного материала, что может быть применимо и для других объектов исследования.

Библиографический список

1. Chatterjee K.K. Uses of industrial minerals, rocks and fresh water. New York: Nova Science Publishers Inc., 2009. P. 69–79.
2. Le Do Tri. Vietnam kaolin potential and orientation of exploration and exploitation for socio-economic development. Hanoi: Geological Information Storage Center, 2008. 155 p.
3. Murry H.H. Applied clay mineralogy: occurrences, processing and application of kaolins, bentonites, palygorskite-sepiolite and common clays // Developments in Clay Science, 2. Amsterdam: Elsevier, 2007. P. 21–24.
4. Prasad M.S., Preid K.J., Murray H.H. Kaolin: processing, properties and applications // Applied Clay Science. 1991. Vol. 6. P. 87–119.
5. Al-Ani T., Sarapää O. Clay and clay mineralogy. Physical-chemical properties and industrial uses. 2008. P. 11–65. [Электронный ресурс]. URL: http://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/m19_3232_2008_41.pdf (2.11.2018).
6. Chen Y.P., Wang K.M., Yang S.D. Mineralogy of dickite and nacrite from Northern Taiwan // Clays and Clay Minerals. 2001. Vol. 49. № 6. P. 586–595.
7. Papoulis D., Tsolis-Katagas P. Physical and chemical properties of some greek kaolins of different environment of origin // Proceeding of the 10th International Congress. Thessaloniki, 2004. P. 130–131.
8. Schroeder P. Clay mineralogy: lecture. 2010 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.clay.uga.edu/courses/8550> (2.11.2018).
9. Hanson R.F., Zamora R., Keller W.D. Nacrite, dickite and kaolinite in one deposit in Nayarite, Mexico // Clay and Clay Minerals. 1981. Vol. 29. P. 451–453.
10. Powder diffraction file release 2004, Data Sets 1-50 plus 70-88 PDF, ICDD International Center for Diffraction Data [Электронный ресурс]. URL: <http://www.icdd.com> (2.11.2018).
11. Au DuyThanh. Thermal analysis of minerals in geological samples. Hanoi: Science and technology, 2001. 45 p.
12. Földvári M. Handbook of thermogravimetric system of mineral and its use in geological practice. Budapest: Geological Institute of Hungary, 2011. 180 p.
13. Mackenzie R.C. The differential thermal investigation of clays: monograph 2. London: Mineralogical Society, 1957. 456 p.
14. Mackenzie R.C. The differential thermal investigation of clays. London: Academic Press, 1970. 775 p.
15. Brindley G.W., Porter A.R.D. Occurrence of dickite in Jamaica – ordered and disordered varieties // American Mineralogist. 1978. Vol. 63. P. 554–562.

References

1. Chatterjee K.K. Uses of industrial minerals, rocks and fresh water. New York: Nova Science Publishers Inc., 2009, pp. 69–79.
2. Le Do Tri. Vietnam kaolin potential and orientation of exploration and exploitation for socio-economic development. Hanoi: Geological Information Storage Center, 2008, 155 p.
3. Murry H.H. Applied clay mineralogy: occurrences, processing and application of kaolins, bentonites, palygorskite-sepiolite and common clays. Developments in Clay Science, 2. Amsterdam: Elsevier, 2007, p. 21–24.
4. Prasad M.S., Preid K.J., Murray H.H. Kaolin: processing, properties and applications. Applied Clay Science, 1991, vol. 6, pp. 87–119.
5. Al-Ani T., Sarapää O. Clay and clay mineralogy. Physical-chemical properties and industrial uses. 2008, pp. 11–65. Available at: http://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/m19_3232_2008_41.pdf (accessed 2 November 2018).
6. Chen Y.P., Wang K.M., Yang S.D. Mineralogy of dickite and nacrite from Northern Taiwan. Clays and Clay Minerals, 2001, vol. 49, no. 6, pp. 586–595.
7. Papoulis D., Tsolis-Katagas P. Physical and chemical properties of some greek kaolins of different environment of origin. Proceeding of the 10th International Congress. Thessaloniki, 2004, pp. 130–131.
8. Schroeder P. Clay mineralogy: lecture. 2010. Available at: <http://www.clay.uga.edu/courses/8550> (accessed 2 November 2018).
9. Hanson R.F., Zamora R., Keller W.D. Nacrite, dickite and kaolinite in one deposit in Nayarite, Mexico. Clay and Clay Minerals, 1981, vol. 29, pp. 451–453.
10. Powder diffraction file release 2004, Data Sets 1-50 plus 70-88 PDF, ICDD International Center for Diffraction Data. Available at: <http://www.icdd.com> (accessed 2 November 2018).
11. Au Duy Thanh. Thermal analysis of minerals in geological samples. Hanoi: Science and technology, 2001, 45 p.
12. Földvári M. Handbook of thermogravimetric system of mineral and its use in geological practice. Budapest: Geological Institute of Hungary, 2011, 180 p.
13. Mackenzie R.C. The differential thermal investigation of clays: monograph 2. London: Mineralogical Society, 1957, 456 p.
14. Mackenzie R.C. The differential thermal investigation of clays. London: Academic Press, 1970, 775 p.
15. Brindley G.W., Porter A.R.D. Occurrence of dickite in Jamaica – ordered and disordered varieties. American Mineralogist, 1978, vol. 63, pp. 554–562.

Критерии авторства / Authorship criteria

Нгуен Нгок Нам, Лай Тхи Биск Тхуи, Фам Динь Ан написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Nguyen Ngoc Nam, Lai Thi Bich Thuy and Pham Dinh An have are the authors of the article, hold equal copyright and bear equal plagiarism responsibility.

Конфликт интересов / Responsibility for plagiarism

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of the article.

Сведения об авторах / Information about the authors



Нгуен Нгок Нам,
магистр,
сотрудник,
Центр геологических испытаний и анализа,
12109, г. Ханой, Тхань Суан, ул. Нгуенчай, 12, Вьетнам,
e-mail: ngocnamhn28@gmail.com

Nguyen Ngoc Nam,
Master of Sciences,
Researcher,
Center for Geological Experiment Analysis,
12, Nguyenchai, Than Suan, Hanoi, 12109, Vietnam,
e-mail: ngocnamhn28@gmail.com



Лай Тхи Биск Тхуй,

магистр,
сотрудник,
Центр геологических испытаний и анализа,
12109, г. Ханой, Тхань Суан, ул. Нгуенчай, 12, Вьетнам,
e-mail: thuyxray@gmail.com

Lai Thi Bich Thuy,

Master of Sciences,
Researcher,
Center for Geological Experiment Analysis,
12, Nguyenchai, Than Suan, Hanoi, 12109, Vietnam,
e-mail: thuyxray@gmail.com



Фам Динь Ан,

магистр,
аспирант,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: phaman.tpu@gmail.com

Pham Dinh An,

Master of Sciences,
Post-graduate student,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: phaman.tpu@gmail.com