ОРИГИНАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / FULL ARTICLE

https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-77-88
УДК 549.08: 543.573

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Т.А. БУДЫКИНА[1,*], Л.В. ГАНДУРИНА[2]

[1] ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России»
1а, Соколовская ул., г.о. Химки, м/р-н Новогорск, Московская область 141435, Россия

[2] ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Изучение свойств глинистых пород имеет большое значение в связи с широким применением глинистого сырья в разных отраслях промышленности. Но идентификация глинистых минералов является сложной задачей.

Цель. Изучение свойств глинистых материалов, отобранных из разных местностей, методом синхронного термического анализа для выявления закономерностей в свойствах и идентификации состава.

Материалы и методы. Исследовались природные материалы из разных географических мест нашей страны и ближнего зарубежья методом синхронного термического анализа.

Результаты. Исследование свойств глинистых материалов методом синхронного термического анализа позволяет проследить поведение материалов при температурном воздействии. Возможны предположение и идентификация состава породы на основе сравнения термогравиметрических кривых исследуемых образцов и известных пород.

Заключение. Установлена возможность применения метода термического анализа для выявления предположительного компонентного минерального состава исследуемой породы, однако существующее многообразие грунтов на планете не позволяет однозначно сделать вывод об их компонентном минеральном составе. Для этого необходимо дополнительно привлекать другие методы исследования (рентгенофазовый, седиментационный, оптический и пр.).

Ключевые слова: синхронный термический анализ, термогравиметрические кривые, дифференциально-сканирующая калориметрия, бентониты, глины

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Будыкина Т.А., Гандурина Л.В. Исследование свойств глинистых пород методом термического анализа. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(1):77—88. https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-77-88

Статья поступила в редакцию 25.01.2023
Принята к публикации 06.03.2023
Опубликована 31.03.2023

* Автор, ответственный за переписку

INVESTIGATION OF AGRILLACEOUS ROCK PROPERTIES BY THERMAL ANALYSIS

TATIANA A. BUDYKINA[1,*], LYUDMILA V. GANDURINA[2]

*[1] Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Russia
1A, Sokolovskaya str., Khimki, md. Novogorsk, Moscow region 141435, Russia*

*[2] Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

ABSTRACT

Background. The importance of studying the properties of argillaceous rock materials is determined by their widespread application in various industries. At the same time, identification of argillaceous minerals is associated with a number of difficulties.

Aim. To study the properties of argillaceous rock materials collected in different sites by the method of simultaneous thermal analysis to reveal their characteristic patterns and to identify their composition.

Materials and methods. Natural materials from different geographical sites in Russia and neighboring countries were studied by the method of simultaneous thermal analysis.

Results. The use of simultaneous thermal analysis for studying the properties of argillaceous materials allows their behavior to be studied under temperature exposure. The composition of rock samples can be identified by comparing their thermogravimetric curves with those of known rocks.

Conclusion. The possibility of using thermal analysis for identifying the presumed mineral composition of the studied rock material was established. However, the diversity of soils on the planet impedes drawing a definite conclusion about their mineral composition. Therefore, thermal analysis should be applied in combination with other research methods, such as XRD, sediment, optical, etc., analytical techniques.

Keywords: simultaneous thermal analysis, thermogravimetric curves, differential scanning calorimetry, bentonites, clays

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Budykina T.A., Gandurina L.V. Investigation of agrillaceous rock properties by thermal analysis. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration.* 2023;65(1):77—88. https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-77-88

Manuscript received 25 January 2023
Accepted 06 March 2023
Published 31 March 2023

* Corresponding author

Изучение свойств глинистых пород имеет большое значение в связи с тем, что глинистое сырье широко применяется не только в строительстве для производства керамзитовых гравия, щебня, песка, керамического кирпича, плитки, огнеупоров, но и в других отраслях, например в водоподготовке, при производстве коагулянтов для очистки сточных вод, на полигонах для размещения отходов в качестве водоупоров, в косметологии и пр. Изучение минеральной составляющей глинистого сырья как наиболее энергетически активного компонента позволяет определить характерные черты материала в целом [7]. Вместе с тем идентификация глинистых минералов является одной из наиболее сложных задач [2].

Согласно ГОСТ 21216-2014, глинистое сырье представляет собой тонкодисперсные осадочные породы, состоящие в основном из глинистых минералов (монтмориллонита, гидрослюды, каолинита и др.), содержащие минеральные (кварцевые, полевошпатовые, карбонатные, железистые) и органические примеси.

Для изучения глинистых минералов необходим комплексный подход, включающий разные виды исследований: рентгенофазовый, химический и термический анализы [3, 5, 6, 8—13, 15—17]. В данной статье приведены результаты исследования глинистого сырья методом синхронного термического анализа (СТА). Сущность метода заключается в изучении фазовых превращений исследуемой пробы вещества при ее нагревании. Под синхронным термическим анализом понимается совместное использование термогравиметрии (ТГА), посредством которой постоянно регистрируется изменение массы пробы при нагревании по заданной температурной программе, и дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК), регистрирующей возникающие тепловые эффекты.

Цель исследования: исследование свойств глинистых материалов, отобранных из разных местностей, методом синхронного термического анализа для выявления закономерностей в свойствах и идентификации состава.

Объектами исследования являлись 13 образцов природных материалов, отобранных в разных географических местностях нашей страны и ближнего зарубежья, которым в статье были даны следующие сокращения:

Г1 — глинистая порода серая, темная (м/р-н Новогорск, Московская область);

Г2 — глинистая порода серая, светлая (м/р-н Новогорск, Московская область);

Г3 — глинистая порода красная (м/р-н Новогорск, Московская область);

Г4 — глина красная (с. Спасское-Лутовиново, Орловская область);

Г5 — глина желтая (с. Спасское-Лутовиново, Орловская область);

Б1 — бентонит, активированный содой (Курганская область);

Б2 — бентонит (Курганская область);

Б3 — бентонит (Азербайджан);

Б4 — бентонит (г. Тольятти);

С1 — суглинок, морена (Московская область);

С2 — суглинок (Республика Крым, пос. Орджоникидзе);

К1 — каолинит;

К2 — клиноптилолит.

Исследуемые образцы, кроме Г4, Г5, представлены на рисунке 1.

В данной работе представлены результаты исследования образцов, не имеющих идентификационных признаков (Г1—Г5, С2), в сравнении с известными осадочными породами — бентонитовыми глинами (Б1—Б4), суглинками (С1), каолином (К1) и клиноптилолитом (К2) — для выявления закономерностей.

Методы анализа

Для исследования глинистых пород при температурном воздействии были проведены эксперименты с использованием метода синхронного термического анализа (СТА). В работе [14] пришли к выводу о возможности идентификации и количественного определения минералов в почвах по термогравиметрическому анализу чистых глинистых минералов (монтмориллонита, каолинита, биотита, мусковита).

Термический анализ — это очень точный метод определения состава исследуемого образца [4, 14], его информативность высока, в связи с чем метод пригоден для исследования различных веществ. Осуществление процесса исследования методом термического анализа происходит на приборе — термоанализаторе.

Термоанализатор представляет собой термовесы (цифровые, высокого разрешения, высокочувствительные) с верхней загрузкой образца и прямым измерением температуры на образце. В данных приборах пробу вещества (мг) нагревают в заданном температурном режиме с заданной скоростью в атмосфере инертного газа, фиксируют убыль массы вещества (термогравиметрический анализ, ТГ) и возникающие экзо- и эндоэффекты (дифференциальная сканирующая калориметрия, ДСК).

Исследование методом СТА проводилось на кафедре пожарной безопасности ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты» на термическом анализаторе STA 449 F3 Jupiter немецкой компании «NETZSCH».

Результаты исследования обрабатывались с помощью программного обеспечения NETZSCH Proteus Thermal Analysis, версия 6.1.0, в виде графических зависимостей:

- ТГ (интегральная кривая) — изменение массы образца (%) от температуры (°C);
- ДТГ — первая производная от термогравиметрической кривой, иллюстрирующая скорость уменьшения массы образца во времени (%/мин.);
- ДСК (тепловые эффекты) — экзо- и эндоэффекты (мВт/мг) от температуры (°C).

Условия исследования: нагрев проб проводился до 600 °C, скорость нагрева составляла 20 °C/мин, атмосфера — воздух. Масса образцов — 4,5—120 мг. Материал тиглей — корунд.

Результаты исследований

На рисунках 2, 3 представлены кривые ТГ исследуемых глинистых пород, отражающие потерю массы (ТГ) через каждые 100 °C измерений.

Рис. 1. *Исследуемые образцы природных материалов: Г1—Г3 — глины; Б1—Б4 — бентониты; С1—С2 — суглинки, К1—К2 — каолинит и клиноптилолит*
Fig. 1. *The studied samples of natural materials: G1—G3 — clays; B1—B4 — bentonites; C1—C2 — loams, K1—K2 — kaolinite and clinoptilolite*

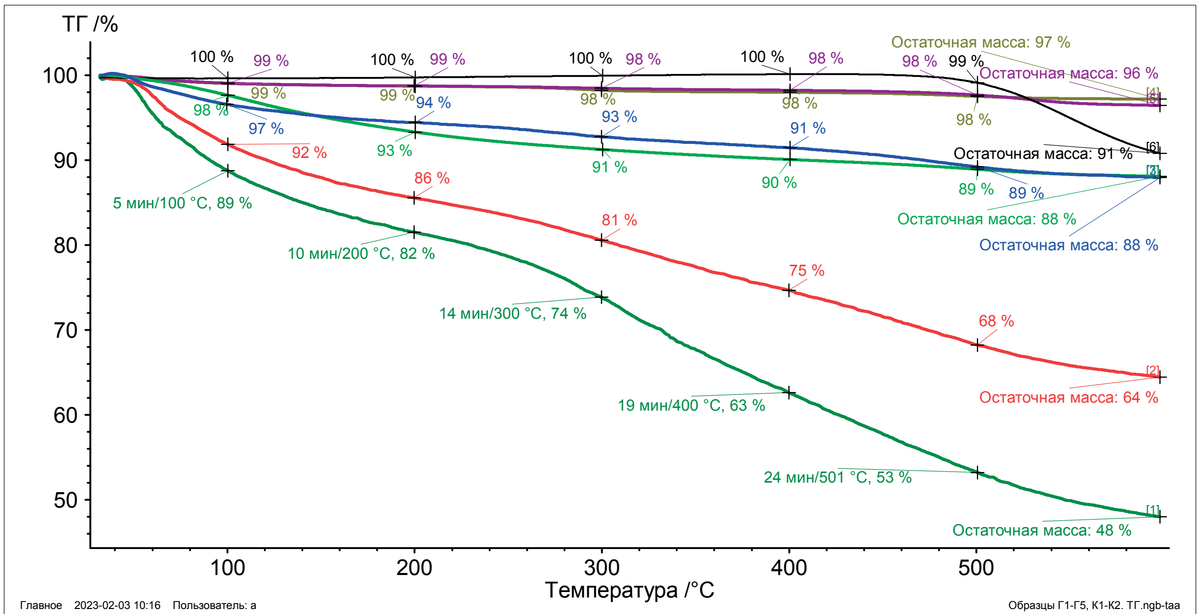
Время достижения указанных температур представлено только для одного образца.

Как видно из рисунков, остаточная масса большинства образцов по достижении температуры 600 °С составляет величины 91—96%. Высокую термическую устойчивость с незначительным снижением массы на 3% продемонстрировали образцы Г4 и С1, на 4% — Г5. Это свидетельствует о преобладании в образцах минеральной составляющей. Наибольшее снижение массы зафиксировано у образцов Г1 (на 52%) и Г2 (на 36%).

Одинаковые формы температурных кривых снижения массы образцов бентонита Б1 (активированного содой) и Б3 могут служить косвенным доказательством того, что бентонит Б3 содержит натриевую форму монтмориллонита, что подтверждается высокой набухаемостью образцов Б1 и Б3 в воде. Водные 5%-ные суспензии Б1 и Б3 имеют студнеобразный вид в отличие от жидкой, текучей суспензии образца Б2.

Форма ТГ-кривых у образцов Б1—Б3 схожа с кривой К2 (на рисунках не представлено кривых К1 и К2), что предполагает содержание клиноптилолита. Образец С2 по форме кривой и по потере массы имеет сходство с ТГ-кривой монтмориллонита [14], что позволяет сделать предположение о преимущественно монтмориллонитовой составляющей в образце. Образцы Г4, Г5, С1 близки по динамике снижения массы образцу К1 (каолину), что может свидетельствовать о сходном составе.

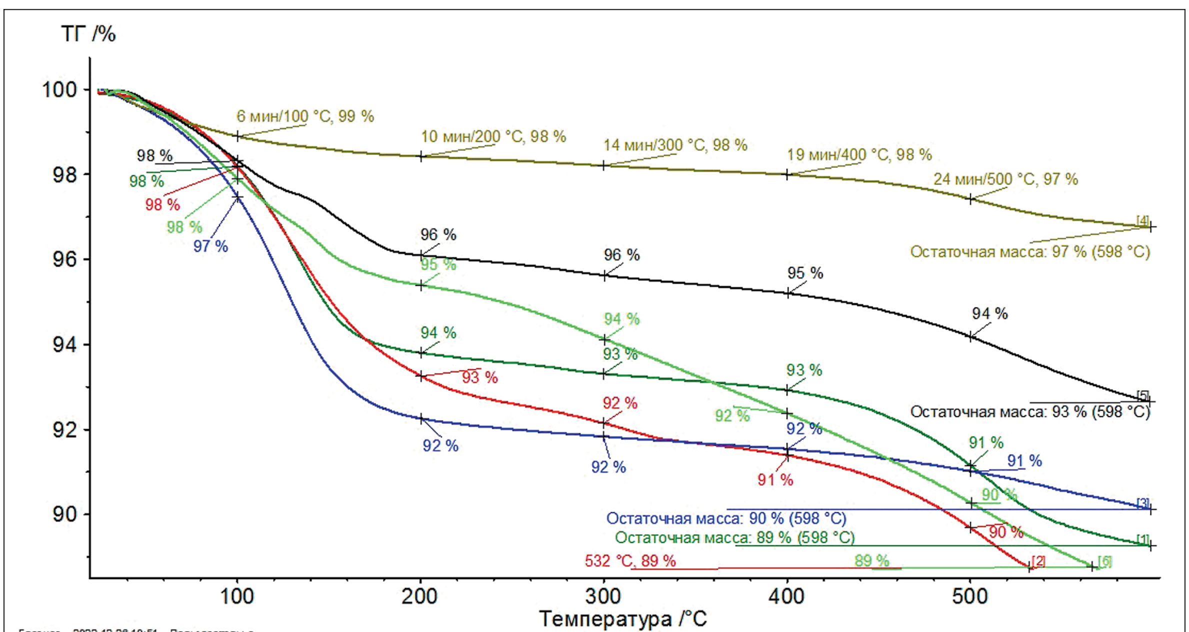
Если анализировать температурные интервалы наиболее интенсивного снижения массы, то можно выявить взаимосвязи. Высокие значения убыли массы (9—11%) образцов Б1—Б4, Г3 и К2 при температуре 500 °С свидетельствуют о выделении конституционной воды, находящейся



[#] Прибор	Файл	Дата	Код образца	Образец	Масса/мг	Сегмент	Диапазон	Атмосфера	Корр.
[1] STA 449F3	25.04.2022 Г1.ngb-ds3	2022-04-25	Г1	Г1	4.5	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	020
[2] STA 449F3	25.04.2022 Г2.ngb-ds3	2022-04-25	Г2	Г2	10.13	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	020
[3] STA 449F3	25.04.2022 Г3.ngb-ds3	2022-04-25	Г3	Г3	11.75	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	020
[4] STA 449F3	15.06.2022 Образец Г4.ngb-ds3	2022-06-15	Образец Г4	Г4	91.6	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	A20
[5] STA 449F3	15.06.2022 Образец Г5.ngb-ds3	2022-06-15	Образец Г5	Г5	120.0	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	A20
[6] STA 449F3	26.09.2022 Образец К1.ngb-ds3	2022-09-26	Образец К1	К1	30.9	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	020
[7] STA 449F3	26.09.2022 Образец К2.ngb-ds3	2022-09-26	Образе К2	К2	78.2	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	020

Создано программным обеспечением NETZSCH Proteus

Рис. 2. *ТГ-кривые образцов Г1—Г5, К1, К2*
Fig. 2. *TG-curves of samples G1—G5, K1, K2*



[#] Прибор	Файл	Дата	Код образца	Образец	Масса/мг	Сегмент	Диапазон	Атмосфера	Корр.
[1] STA 449F3	12.05.2022 Образец Б1.ngb-ds3	2022-05-12	Б1	Б1	95.3	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	020
[2] STA 449F3	16.05.2022 Образец Б2.ngb-ds3	2022-05-16	Б2	Образец Б2	96.8	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	020
[3] STA 449F3	16.05.2022 Образец Б3.ngb-ds3	2022-05-16	Б3	Образец Б3	76.9	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	020
[4] STA 449F3	16.05.2022 Образец С1.ngb-ds3	2022-05-16	С1	Образец С1	88.6	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	020
[5] STA 449F3	23.09.2022 Образец С2.ngb-ds3	2022-09-23	Образец С2	С2	87.0	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	020
[6] STA 449F3	23.09.2022 Образец Б4.ngb-ds3	2022-09-23	23.09.2022 Образец Б4	Б4	70.8	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	020

Создано программным обеспечением NETZSCH Proteus

Рис. 3. *ТГ-кривые образцов Б1—Б4, С1—С2*
Fig. 3. *TG-curves of samples B1—B4, C1—C2*

в кристаллической решетке алюмосиликатных минералов слоистой структуры. Каолинитсодержащие образцы Г4, Г5, С1, К1 имеют плотную структуру, характерную для монтморилонитовых глин, и при температуре 500 °C показывают невысокие значения снижения массы (1—3%). Резкая потеря массы для образца К1 с 1 до 9 % в интервале 500—600 °C определяется, по всей вероятности, разрушением структуры каолинита.

Образцы Г1 и Г2 значительно отличаются по составу от других образцов, что свидетельствует о наличии органической составляющей, которая выгорает по ходу эксперимента; минеральная (глинистая) составляющая в них не превышает 50%. Аналогичные выводы при исследовании грунтов сделали исследователи в публикациях [4, 14].

На рисунках 4—6 представлены кривые ДТГ исследуемых образцов, демонстрирующие скорость убыли массы от температуры.

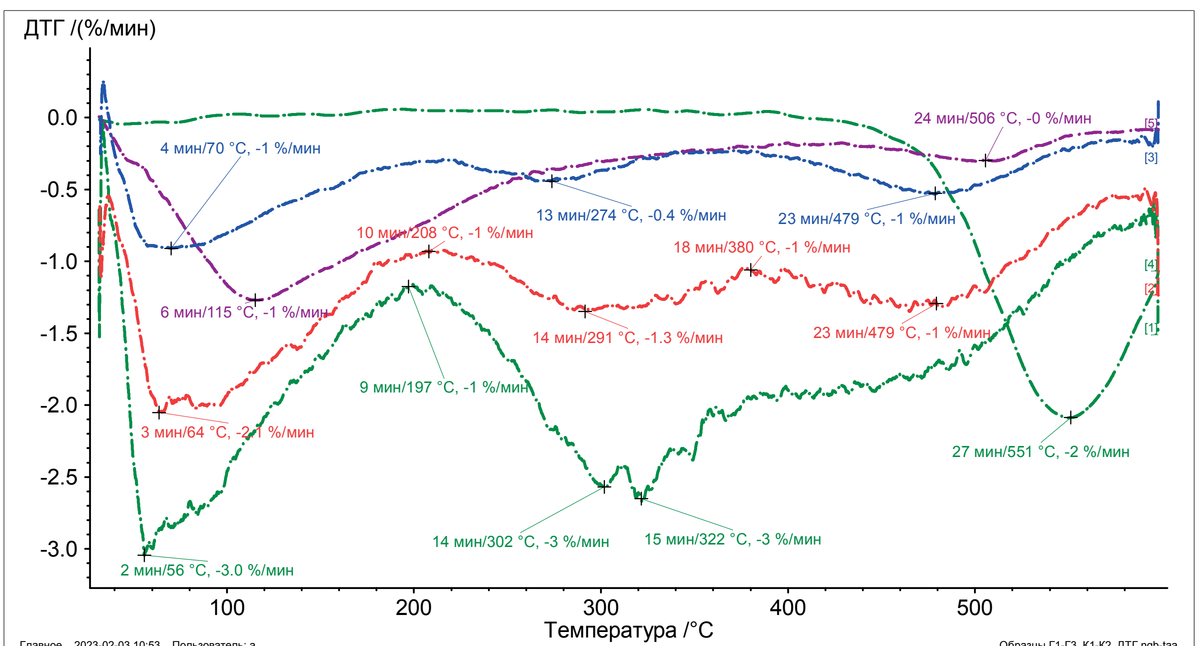
Как видно из рисунка 4, скорость убыли массы образцов Г1 и Г2 имеет сходный вид, но экстремумы у Г1 более выражены. Наличие экстремумов ДТГ у образцов Г1 и Г2 свидетельствует об удалении адсорбционной воды и сгорании органической части состава. Данные рисунка 5 свидетельствуют о процессах удаления воды с очень малой скоростью, характерной для каолинит содержащих глин (образцы Г4 и Г5), что хорошо согласуется с рисунком 2 и малой потерей массы.

Кривые на рисунке 6 подтверждают одинаковые свойства монтмориллонитовых бентонитов Б1—Б3, имеющих один минимум при температуре 128—135 °C, и схожесть образцов Б4 и С2, имеющих 2 минимума в диапазоне температур 103—155 °C, при которых происходит удаление двух форм кристаллизационной воды: цеолитовой, как у клиноптилолита К2 (рис. 4), и адсорбционной, как у бентонитов Б1—Б3.

В таблице 1 представлены значения пиков убыли массы глинистых образцов при температурном воздействии в четырех интервалах температур, а в таблице 2 — предполагаемый минеральный состав глинистых образцов, определенный на основе ТГ- и ДТГ-кривых.

Из таблиц следует, что в некоторых случаях данные ДТГ-анализа дополняют и уточняют компонентный состав на основе ТГ-кривых, а также позволяют идентифицировать второй минеральный компонент глинистых минералов (например, для образцов Б1 и С2).

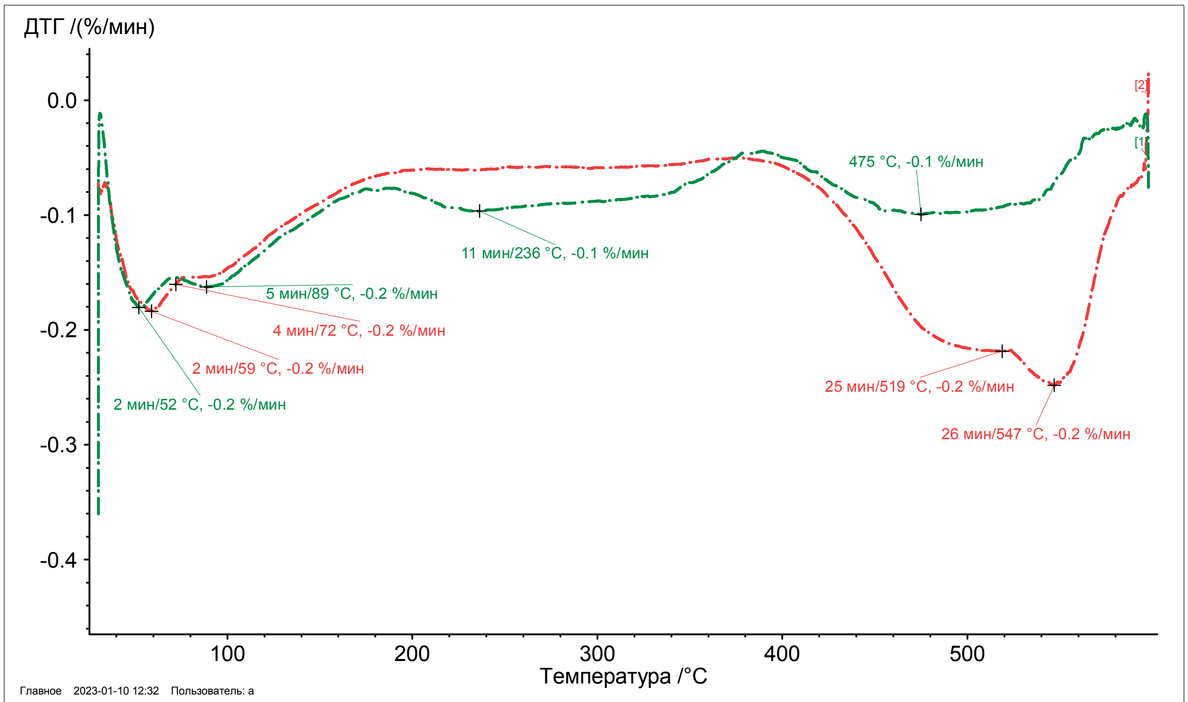
Анализируя кривые ДСК образцов, характеризующих тепловые эффекты, происходящие



[#] Прибор	Файл	Дата	Код образца	Образец	Масса/мг	Сегмент	Диапазон	Атмосфера	Корр.
[1] STA 449F3	25.04.2022 Г1.ngb-ds3	2022-04-25	Г1	Г1	4.5	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	D
[2] STA 449F3	25.04.2022 Г2.ngb-ds3	2022-04-25	Г2	Г2	10.13	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	D
[3] STA 449F3	25.04.2022 Г3.ngb-ds3	2022-04-25	Г3	Г3	11.75	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	E
[4] STA 449F3	26.09.2022 Образец К1.ngb-ds3	2022-09-26	Образец К1	К1	30.9	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	A
[5] STA 449F3	26.09.2022 Образец К2.ngb-ds3	2022-09-26	Образе К2	К2	78.2	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	A

Создано программным обеспечением NETZSCH Proteus

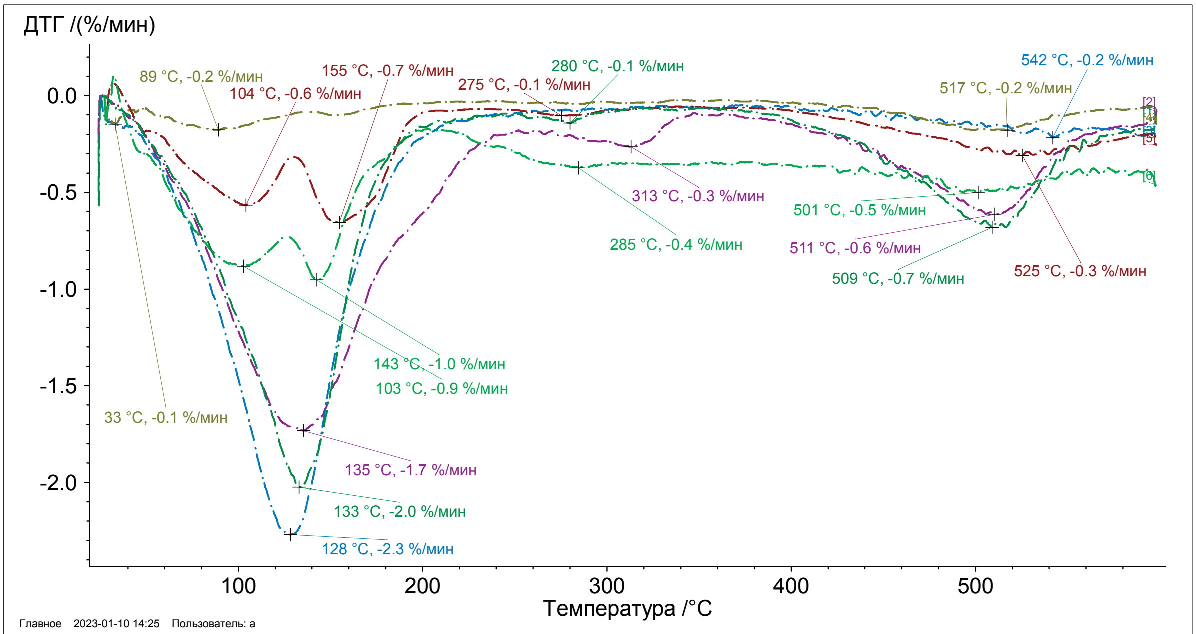
Рис. 4. *ДТГ-кривые образцов Г1—Г3, К1, К2*
Fig. 4. *DTG-curves of samples G1—G3, К1, К2*



[#] Прибор	Файл	Дата	Код образца	Образец	Масса/мг	Сегмент	Диапазон	Атмосфера	Корр.
[1] STA 449F3	15.06.2022 Образец Г4.ngb-ds3	2022-06-15	Образец Г4	Г4	91.6	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	H
[2] STA 449F3	15.06.2022 Образец Г5.ngb-ds3	2022-06-15	Образец Г5	Г5	120.0	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	H

Создано программным обеспечением NETZSCH Proteus

Рис. 5. *ДТГ-кривые образцов Г4—Г5*
Fig. 5. *DTG-curves of samples G4—G5*



[#] Прибор	Файл	Дата	Код образца	Образец	Масса/мг	Сегмент	Диапазон	Атмосфера	Корр.
[1] STA 449F3	12.05.2022 Образец Б1.ngb-ds3	2022-05-12	Б1	Б1	95.3	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	A
[2] STA 449F3	16.05.2022 Образец Б2.ngb-ds3	2022-05-16	Б2	Образец Б2	96.8	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	A
[3] STA 449F3	16.05.2022 Образец Б3.ngb-ds3	2022-05-16	Б3	Образец Б3	76.9	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	A
[4] STA 449F3	16.05.2022 Образец С1.ngb-ds3	2022-05-16	С1	Образец С1	88.6	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	A
[5] STA 449F3	23.09.2022 Образец С2.ngb-ds3	2022-09-23	Образец С2	С2	87.0	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	A
[6] STA 449F3	23.09.2022 Образец Б4.ngb-ds3	2022-09-23	23.09.2022 Образец Б4	Б4	70.8	1/1	20°C/20.0(K/мин)/600°C	N2/O2, 20.0мл/мин / N2, 20.0мл/мин	A

Создано программным обеспечением NETZSCH Proteus

Рис. 6. *ДТГ-кривые образцов Б1—Б4, С1—С2*
Fig. 6. *DTG-curves of samples B1—B4, C1—C2*

Таблица 1. ДТГ образцов
Table 1. DTG of samples

Образец	Наличие пиков (максимальной убыли массы) при температуре, °C / значение скорости убыли массы, %/мин.			
	0—100 °C	100—200 °C	200—400 °C	400—600 °C
Г1	56 / –3	–	302 / –3 322 / –3	–
Г2	64 / –2,1	–	291 / –1,3	479 / –1
Г3	70 / –1	–	274 / –0,4	479 / –1
Г4	52 / –0,2 89 / –0,2	–	236 / –0,1	475 / –0,1
Г5	59 / –0,2 72 / –0,2	–		519 / –0,2 547 / –0,2
Б1	–	133 / –2,0	280 / –0,1	509 / –0,7
Б2	–	135 / –1,7	313 / –0,3	511 / –0,6
Б3	–	128 / –2,3	–	542 / –0,2
Б4	–	103 / –0,9 143 / –1,0	285 / –0,4	501 / –0,5
С1	30 / –0,2 88 / –0,2	–	–	517 / –0,2
С2	–	104 / –0,7 155 / –0,8	–	524 / –0,4
К1	–	–	–	551 / –2
К2	–	116 / –1	–	505 / –0

Таблица 2. Идентификация минерального состав образцов глинистой породы по данным термического анализа
Table 2. Identification of the mineral composition of clay porosity samples according to thermal analysis data

Образец	Вероятный компонент по данным	
	ТГ-кривой	ДТГ-кривой
Г1	Гумусовые вещества	Гумусовые вещества
Г2	Гумусовые вещества	Гумусовые вещества
Г3	Монтмориллонит	Монтморилонит
Г4	Каолинит	Каолинит
Г5	Каолинит	Каолинит
Б1	Монтмориллонит, натриевая форма	Монтмориллонит + клиноптилолит
Б2	Клиноптилолит	Монтмориллонит
Б3	Монтмориллонит, натриевая форма	Монтмориллонит
Б4	-	Монтмориллонит
С1	Каолинит	Каолинит
С2	Монтмориллонит	Монтмориллонит + клиноптилолит
К1	Каолинит	Каолинит
К2	Клиноптилолит	Клиноптилолит

при нагревании в исследуемых материалах, и их величины (в виде площади), можно сделать следующие выводы. Процесс нагрева до 600 °C исследуемых проб сопровождается эндо- и экзоэффектами, причем экзоэффекты в основном наблюдаются у образцов Г1 и Г2, что связано со сгоранием органической составляющей (гумуса). Для всех остальных образцов характерны эндоэффекты.

В таблице 3 представлены значения эндо- и экзотермических пиков при температурном воздействии на образцы.

Как видно из таблицы 3, тепловые эффекты для исследуемых образцов различны, но схожи для Б1—Б2, С1 и К2, что может свидетельствовать о содержании клиноптилолита. Сходны между собой и кривые С2, Б3—Б4. Но вместе с тем практически идентичных кривых ДСК нет, что приводит к заключению о необходимости всестороннего исследования образцов другими методами, дополняющими термический анализ: рентгеновской дифракцией [2, 3, 5, 8, 9, 11, 12], аналитическими методами [1], с применением сканирующей электронной микроскопии [5, 9, 11], рентгенофлуоресцентной спектрометрии [5].

Заключение

1. Идентификация глинистых минералов является сложной задачей в связи с большим разнообразием и сильно отличающимся минеральным составом, зависящим от географической принадлежности.

Таблица 3. ДСК образцов с указанием температурных максимумов и площади возникающего эффекта
Table 3. DSC of samples indicating the temperature maxima and the area of the resulting effect

Образец	Наличие пиков (максимальной убыли массы) при температуре, °С / значение скорости убыли массы, %/мин.			
	Эндоэффект		Экзоэффект	
	Интервал температур, °С	Площадь, Дж/г	Интервал температур, °С	Площадь, Дж/г
Г1	20—200	-472	200—400	691
	500—600	-22	-	-
Г2	20—200	-332	200—400	237
	500—600	-16	-	-
Г3	20—200	-313	-	-
	500—600	-27	-	-
Г4	20—120	-15	120—300	11
	420—550	-9	300—420	7
	550—600	-3	-	-
Г5	20—120	-10	-	-
	450—550	-14	-	-
	550—600	-1	-	-
Б1	20—250	-118	-	-
	450—550	-56	-	-
Б2	20—250	-186	-	-
	300—350	-1,5	-	-
	450—550	-56	-	-
Б3	20—220	-173	250—550	45
Б4	20—220	-126	250—500	69
С1	20—150	-14	-	-
	450—550	-7	-	-
	550—600	-1	-	-
С2	20—150	-27	300—550	89
	150—220	-15	-	-
К1	450—600	-143	-	-
К2	20—250	-169	-	-
	450—550	-14	-	-

Установлены отличающиеся друг от друга характеристики глинистых пород разных видов.

2. Показано, что исследование свойств глинистых материалов методом синхронного термического анализа позволяет выявить характерные особенности поведения пробы при температурном воздействии и использовать это для обеспечения безопасного технологического процесса.

3. Установлена возможность применения метода термического анализа для выявления предположительного компонентного минерального состава исследуемой породы на основе сравнения полученных зависимостей неизвестных глинистых пород и известных минералов, каолинита, монтмориллонита и клиноптилолита. Однако существующее многообразие пород на планете не позволяет однозначно сделать вывод об их компонентном минеральном составе. Для этого исследование компонентного состава глин методом термического анализа необходимо дополнить другими методами исследования (рентгенофазовый, седиментационный, оптический и пр.).

4. Дальнейшие исследования будут направлены на использование кинетических и флокуляционных характеристик разбавленных суспензий глинистых пород для идентификации их минерального состава и установления взаимосвязи с данными термического анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Афонина А.П., Бурыкина О.В., Разиньков Д.Ю.* Количественное определение состава глины. В сб.: Фундаментальные и прикладные исследования в области химии и экологии — 2021: сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Курск, 2021. С. 10—13.
2. *Белоусов П.Е., Бочарникова Ю.И., Боева Н.М.* Аналитические методы диагностики минерального состава бентонитовых глин // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2015. № 4. С. 94—101.
3. *Белоусов П.Е., Покидько Б.В., Закусин С.В., Крупская В.В.* Количественные методы определения содержания монтмориллонита в бентонитовых глинах. Георесурсы. 2020. № 22(3). С. 38—47. DOI: 10.18599/grs.2020.3.38-47
4. *Белопухов С.Л., Старых С.Э., Куприянов А.Н., Григорьева М.В.* Исследование качественного состава гумусовых кислот дерново-подзолистой почвы методом термического анализа // Природообустройство. 2020. № 3. С. 36—45. DOI: 10.26897/1997-6011-2020-3-45-54
5. *Боева Н.М., Бочарникова Ю.И., Жухлистова А.П.* Синхронный термический анализ — экспресс-метод оценки качества кислотной активации бентонитов // Геохимия. 2018. № 9. С. 923—928. DOI: 10.1134/S0016752518090030
6. *Губайдуллина А.М., Лыгина Т.З., Вассерман Д.В., Исламова Г.Г.* Информативность и специфические особенности термоаналитических исследований при оценке качества сырьевых материалов волластонитсодержащей, кордиеритовой и клинкерной керамики // Вестник Казанского технологического университета, 2009. № 6. С. 373—378.
7. *Каспржицкий А.С., Морозов А.В., Лазоренко Г.И., Талпа Б.В., Явна В.А.* Комплексное исследование состава и структурных особенностей породообразующих минералов бентонитовых глин Миллеровского месторождения // Инженерный вестник Дона. 2013. № 3(26). С. 110.
8. *Калбаев А.М., Абдикамалова А.Б.* Исследование глин Крантаусского, Бештюбенского и Ходжакульсткого месторождений // Вопросы науки и образования. 2018. № 10(22). С. 8—14.
9. *Кормишина А.Е., Мизина П.Г., Кормишин В.А.* Изучение физических свойств глины голубой Ундоровского метсорождения // Национальная Ассоциация Ученых. 2016. № 3(19). С. 35—37.
10. *Левашов Н.Ф., Акулова М.В., Потёмкина О.В.* Использование методов термогравиметрии для анализа влияния компонентов на структуру пенобетона // Информационная среда вуза (см. в книгах). 2016. № 1(23). С. 394—398.
11. *Петроченков Д.А., Барабошкин Е.Ю.* Минералогия интерьерно-ювелирных аммонитов Самарской области. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022. № 64(2). С. 47—56. DOI: 10.32454/0016-7762-2022-64-2-47-56
12. *Рязанова А.С.* Способность смектитовой компоненты бентонитовой глины к интеркаляции глицина // Вестник Пермского университета. Серия Геология. 2020. Т. 19, № 1. С. 44—49. DOI: 10.17072/psu.geol.19.1.44
13. *Середин В.В., Ядзинская М.Р., Андрианов А.В.* Классификация форм связанной воды в каолинитовых глинах // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332. № 6. 73—81. DOI: 10.18799/24131830/2021/06/3237
14. *Маслова М.Д., Белопухов С.Л., Тимохина Е.С., Шнее Т.В., Нефедьева Е.Э., Шайхиев И.Г.* Термохимические характеристики глинистых минералов и слюд // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 21. С. 121—127.
15. *Тотурбиев Б.Д., Юсупов А.Р., Рададанов Г.А., Абдулганиева Т.И.* Использование бентонитовых глин для получения теплоизоляционного пенобетона // Труды института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2017. № 4(71). С. 17—25.

16. *Хакимов И.С., Хацринов А.И.* Исследование электрофизической активации сорбентов на основе глинистых минералов // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22, № 7. С. 90—92.
17. *Oranska O.I., Gornikov Yu.I.* X-Ray Diffraction and Thermal Studies on Some Food and Cosmetic Bentonite Clays. Khimiya, fizika ta tekhnologiya poverkhni = Chemistry, Physics and Technology of Surface. 2019. Vol.10. №1. pp. 13-21. (In Ukr.) DOI: https://doi.org/10.15407/hftp10.01.013

REFERENCES

1. Afonina A.P., Burykina O.V., Razinkov D.Yu. Quantitative determination of clay composition. In the collection: Fundamental and applied research in the field of chemistry and ecology — 2021: collection of scientific articles of the International Scientific and Practical Conference of students, postgraduates and young scientists. Kursk, 2021. P. 10—13 (In Russian).
2. Belousov P.E., Bocharnikova Yu.I., Boeva N.M. Analytical methods of diagnostics of the mineral composition of bentonite clays // Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Engineering Research. 2015. No. 4. P. 94—101 (In Russian).
3. Belousov P.E., Ostavko B.V., Zakusin S.V., Krupskaya V.V. Quantitative methods for determining the content of montmorillonite in bentonite clays. Geo resources. 2020. No. 22(3). P. 38—47 (In Russian). DOI: 10.18599/grs.2020 .3.38-47
4. Belopukhov S.L., Starykh S.E., Kupriyanov A.N., Grigorieva M.V. Investigation of the qualitative composition of humic acids of sod-podzolic soil by thermal analysis method. // Environmental engineering. 2020. No. 3. P. 36—45 (In Russian). DOI: 10.26897/1997-6011-2020-3-45-54
5. Boeva N.M., Bocharnikova Yu.I., Zhukhlistova A.P. Synchronous thermal analysis — express method for assessing the quality of acid activation of bentonites // Geochemistry. 2018. No. 9. P. 923—928 (In Russian). DOI: 10.1134/S0016752518090030
6. Gubaidullina A.M., Lygina T.Z., Wasserman D.V., Islamova G.G. Informativeness and specific features of thermoanalytical studies in assessing the quality of raw materials of wollastonite-containing, cordierite and clinker ceramics // Bulletin of Kazan Technological University. 2009. No. 6. P. 373—378 (In Russian).
7. Kasprzhitsky A.S., Morozov A.V., Lazorenko G.I., Talpa B.V., Yavna V.A. Comprehensive study of the composition and structural features of rock-forming minerals of bentonite clays of the Millerovsky deposit // Engineering Bulletin of the Don. 2013. No. 3(26). P. 110 (In Russian).
8. Kalbaev A.M., Abdikamalova A.B. Investigation of clays of the Krantaussky, Beshtyubensky and Khodzhakulstky deposits // Questions of Science and Education. 2018. No. 10(22). P. 8—14 (In Russian).
9. Kormishina A.E., Mizina P.G., Kormishin V.A. Study of the physical properties of blue clay of the Undorovsky metrogeneration // National Association of Scientists. 2016. No. 3(19). P. 35—37 (In Russian).
10. Levashov N.F., Akulova M.V., Potemkina O.V. Using thermogravimetry methods to analyze the effect of components on the structure of foam concrete // The information environment of the university (see in the books). 2016. No. 1(23). P. 394—398 (In Russian).
11. Petrochenkov D.A., Baraboshkin E.Yu. Mineralogy of interior jewelry ammonites of the Samara region // Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and exploration. 2022. No. 64(2). P. 47—56 (In Russian). DOI: 10.32454/0016-7762-2022-64-2-47-56
12. Ryazanova A.S. The ability of the smectite component of bentonite clay to intercalate glycine // Bulletin of Perm University, Geology. 2020. Vol. 19. No. 1 (In Russian). DOI: 10.17072/psu.geol.19.1.44
13. Seredin V.V., Yadzinskaya M.R., Andrianov A.V. Classification of bound water forms in kaolinite clays // Izvestiya Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering. 2021. Vol. 332. No. 6. P. 73—81 (In Russian). DOI: 10.18799/24131830/2021/06/3237
14. Maslova M.D., Belopukhov S.L., Timokhina E.S., Shnee T.V., Nefedieva E.E., Shaikhiev I.G. Thermochemical characteristics of clay minerals and micas // Bulletin of Kazan Technological University. 2014. Vol. 17. No. 21. P. 121—127 (In Russian).
15. Toturbiev B.D., Yusupov A.R., Radadanov G.A., Abdulganieva T.I. The use of bentonite clays for obtaining heat-insulating foam concrete // Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2017. No. 4(71). P. 17—25 (In Russian).
16. Khakimov I.S., Khatsrinov A.I. Study of electrophysical activation of sorbents on based on clay minerals. // Bulletin of the Technological University. 2019. Vol. 22, No. 7. P. 90—92 (In Russian).
17. Oranska O.I., Gornikov Yu.I. X-Ray Diffraction and Thermal Studies on Some Food and Cosmetic Bentonite Clays. Khimiya, fizika ta tekhnologiya poverkhni = Chemistry, Physics and Technology of Surface. 2019. Vol.10. №1 pp. 13-21. (In Ukr.) DOI: https://doi.org/10.15407/hftp10.01.013

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Будыкина Т.А. — внесла вклад в разработку концепции статьи, проводила экспериментальные исследования, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Гандурина Л.В. — внесла вклад в разработку концепции статьи, подготовила текст статьи, проводила анализ экспериментальных результатов, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Tatiana A. Budykina — contributed to the development of the concept of the article, conducted experimental research, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Lyudmila V. Gandurina — contributed to the development of the concept of the article, prepared the text of the article, analyzed the experimental results, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Будыкина Татьяна Алексеевна* — доктор технических наук, профессор кафедры пожарной безопасности ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России».
1а, Соколовская ул., г.о. Химки, м/р-н Новогорск, Московская область 141435, Россия
e-mail: agz@amchs.ru
тел.: +7 (498) 6990 625, +7 (950) 873-70-25
SPIN-код: 5164-7470
ORCID: https://orcid.org 0000-0001-9571-3166

Гандурина Людмила Васильевна — доктор технических наук, профессор кафедры строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: office@mgri.ru
тел.: +7 (495) 255-15-10, 8-916-052-29-11
SPIN-код: 7399-7391

Tatiana A. Budykina* — Dr. of Sci. (Tech.), Prof. of the Department of Fire Safety at the Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Russia.
1A, Sokolovskaya str., Khimki, md. Novogorsk, Moscow region 141435, Russia
e-mail: agz@amchs.ru
tel.: +7 (498) 6990 625, +7 (950) 873-70-25
SPIN-code: 5164-7470
ORCID: https://orcid.org 0000-0001-9571-3166

Lyudmila V. Gandurina — Dr. of Sci. (Tech.), Prof. of the Department of Construction of Systems and Structures of Water Supply and Sanitation, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: office@mgri.ru
tel.: +7 (495) 255-15-10, 8-916-052-29-11
SPIN-code: 7399-7391

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author