

# ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ГЛАУКОНИТА НА ЕГО ВЛАГО- И НЕФТЕЁМКОСТЬ

**С.И. Нифталиев, Ю.С. Перегудов, Н.Я. Мокшина, Р. Мэжри, И.А. Саранов**

**Воронежский государственный университет инженерных технологий,  
Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е.Жуковского и Ю.А. Гагарина, г. Воронеж**

Представлены результаты исследования эффективности термической обработки образцов глауконита. Оценивалась способность сорбента к водопоглощению и удерживанию нефтепродуктов. Методом дифференциальной сканирующей калориметрии установлено, что термически активированные образцы глауконита практически не насыщаются парами воды. Нефтепоглощение уменьшается после термической обработки глауконита при 600 °С и увеличивается при 1000 °С по сравнению с исходным образцом, что объясняется различными структурными изменениями.

*Ключевые слова: глауконит, термообработка, водопоглощение, нефтеёмкость*

## The Effect of Thermal Activation of Glaucosite on its Water-Retaining and Oil Capacity

**S.I. Niftaliyev, Yu.S. Peregudov, N.Ya. Mokshina, R. Mezhrri, I.A. Saranov**

**Voronezh State University of Engineering Technologies, 394036 Voronezh, Russia,  
The Air Force Academy named by Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, 394064 Voronezh, Russia**

The results of the study of the efficiency of heat treatment of samples of glauconite are presented. Estimated ability of the sorbent to water absorption and retention of petroleum products. It was established by the method of differential scanning calorimetry that thermally activated glauconite samples are practically not saturated with water vapor. Oil capacity decreases after heat treatment of glauconite at 600°C and increases at 1000°C compared with the original sample, which is explained by various structural changes.

*Key words: glauconite, heat treatment, water absorption, oil capacity*

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-07-42-47

**В** настоящее время большое внимание уделяется проблемам экологии, связанным с разливами нефти и нефтепродуктов. Данные проблемы заставляют человека создавать все новые и новые высокоэффективные сорбенты, используя для этих целей широко распространенные в природе минералы, а также отходы химических и других производств [1–5]. Для очистки почвы и воды от нефти и нефтепродуктов применяется большое количество углеродных и

минеральных сорбентов, в том числе на основе алюмосиликатов, к числу которых относится глауконит, благодаря своей структуре используемый в процессах водоочистки от неорганических и органических веществ. Он встречается в различных геологических системах — в песках, песчаниках, глинах, мергелях и известняках.

Данные о состоянии воды в сорбенте являются основой для характеристики сорбционных процессов в многокомпонент-

ных системах. Актуальность исследования гидратационных свойств глауконита обусловлена возможностью описания действия гидратации на поглощение нефти и нефтепродуктов минеральным сорбентом. Основным недостатком такого сорбента остаётся его влагоёмкость и адсорбция паров воды, что приводит к уменьшению нефтеёмкости. Для решения этого вопроса используют различные методы [6, 7], одним из которых является термическая активация [8–10].

Целью данной работы являлось изучение влияния термической активации глауконита на его водо- и нефтепоглощение.

### **Материалы и методы исследования**

Объектом исследования являлся глауконит Каринского месторождения Кунашакского района Челябинской области, широко применяемый минеральный сорбент. Глауконит разных месторождений различается переменным составом и наличием элементов-примесей. Область применения глауконита определяется его составом [11]. Исходя из этого были проведены исследования элементного состава глауконита и массовой доли элементов с учетом содержания воды волновым рентгенофлуоресцентным спектрометром S8 Tiger (Bruker, Германия).

Фазовый состав глауконита установили методом рентгеновской дифрактометрии в геометрии Брегга-Брентано с использованием  $\text{CuK}\alpha$ -излучения на рентгеновском дифрактометре ARL X'TRA (Thermo Scientific, Швейцария). Дифрактограммы получали с приповерхностного слоя (~15 мкм). Для рентгеновской дифрактометрии гранулы образца глауконита перетирали в ступке до состояния пыли, затем придавали плоскую форму поверхности прессом.

Структуру и размер частиц порошкового материала глауконита исследовали методом просвечивающей электронной микроскопии в светлопольном и темнопольном режимах (Libra 120), методом растровой электронной микроскопии (JSM-6380LV), методом динамического рассеяния света (Zetasizer Nano ZSP) с оптикой неинвазивного обратного рассеяния NIBS [12].

Термическая активация образцов глауконита осуществлялась в электропечи ЭКПС-10 с микропроцессорным терморегулятором. Диапазон регулирования температуры в электро-

печи от 200 до 1100 °С. Термическую обработку глауконита проводили при температурах 600 и 1000 °С. Цвет прокаленных образцов глауконита изменился с зеленого на желтый (600 °С) и красно-коричневый (1000 °С).

Для определения влияния термической активации на влагопоглощение глауконита, его исходный и термически обработанные образцы выдерживали над насыщенным раствором  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  с упругостью водяного пара 0,980 до установления равновесия в изотермических условиях. Контроль над достижением равновесия и определение количества поглощенной воды осуществляли методом гравиметрии. Критерием достижения равновесия служило установление постоянной массы образцов глауконита.

В качестве поллютантов были выбраны следующие объекты: нефть П, бензин А-92 и синтетические масла Castrol 5w-40.

Экспериментальные исследования процесса дегидратации образцов глауконита исходного и термически обработанного проводили на приборе синхронного термического анализа (ТГ-ДТА/ДСК) модели STA 449 F3 Jupiter в атмосфере азота, точность измерения температуры 0,1 °С. Данный прибор комбинирует в себе преимущества высокочувствительных термовесов и дифференциального сканирующего калориметра. Метод ДСК основан на регистрации тепловых эффектов физико-химических и структурных превращений, протекающих в глауконите при запрограммированном изменении воздействующей температуры. Для обработки полученных зависимостей кривых ДСК и ТГ использовалось программное обеспечение NETZSCH Proteus и MS Excel, после чего строились дифференциальные кривые dДСК и dТГ. Эксперименты проводились по программе нагрева со скоростью

10 К/мин в платиновых тиглях в среде газообразного азота класса 5 с расходом продувочного газа 60 мл/мин.

Для определения водопоглощения глауконита сосуд заполняли водой и опускали в него предварительно взвешенное сито с хлопчатобумажной тканью. Диаметр сита был немного меньше внутреннего диаметра сосуда. На сито помещали образец глауконита массой 6 г и погружали в сосуд с водой. Через определенные промежутки времени извлекали сито с глауконитом и взвешивали. Влагоемкость глауконита ( $W$ , %) определяли как отношение массы сорбента, поглотившего воду ( $m_1$ ), к массе сухого сорбента ( $m$ ) по формуле:  $W = ((m_1 - m)/m)100$ .

Методика по измерению нефтеемкости исходного и термически обработанного глауконита заключалась в следующем. Образец глауконита массой 8 г помещали в воронку Бюхнера с перекрытым резиновым шлангом. На дне воронки находилась хлопчатобумажная ткань, на которую насыпали глауконит и наливали нефть. Через пять минут сорбент извлекали из нефти и устанавливали на него груз. Затем образец глауконита взвешивали на аналитических весах. Емкость нефтепоглощения определялась по разнице масс сорбента в исходном и в насыщенном состояниях, таким же образом определялась емкость по бензину и маслу. Нефтепоглощение глауконита ( $A$ , %) рассчитывали по формуле:

$$A = ((P_t - P_0)/P_0)100,$$

где  $P_t$  — масса сорбента после погружения в нефть, г;  $P_0$  — первоначальная масса сорбента, г.

Потери бензина при изменении составили 6,61 %, а нефти — 0,57 %.

### **Результаты и обсуждения**

По результатам обработки измерений в программе QuantExpress был исследован химический состав глауконита.

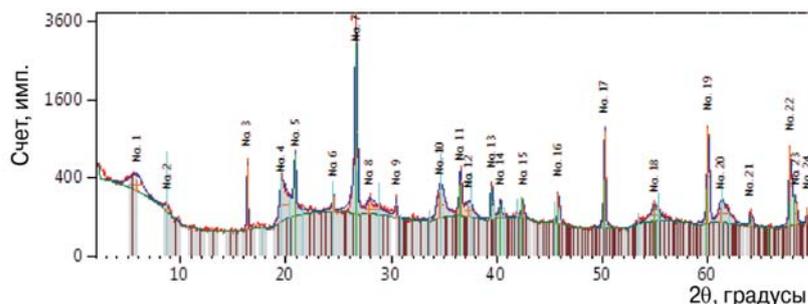


Рис. 1. Дифрактограмма глауконита

Fig. 1. The diffraction pattern of glauconite

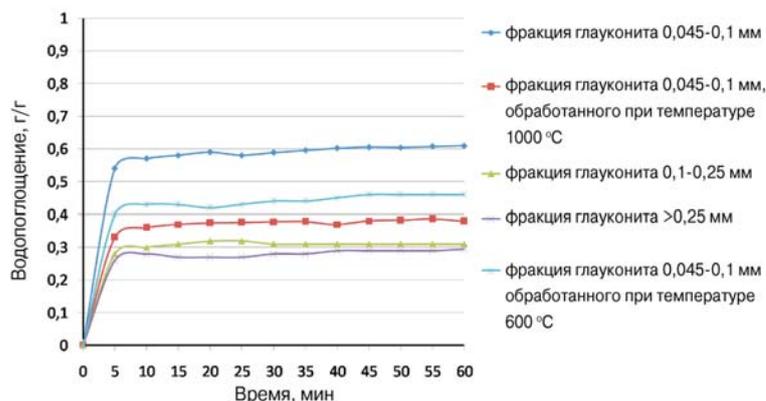


Рис. 2. Зависимость водопоглощения от времени контакта образцов глауконита до и после термической активации

Fig. 2. Dependence of water absorption on the contact time of glauconite samples before and after thermal activation

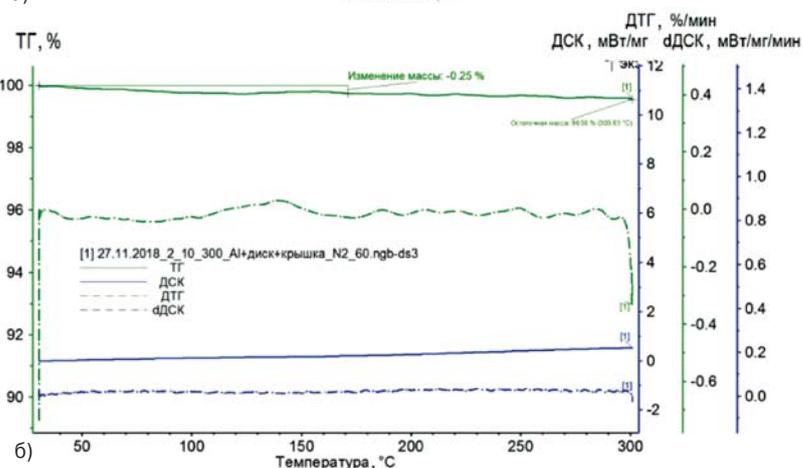
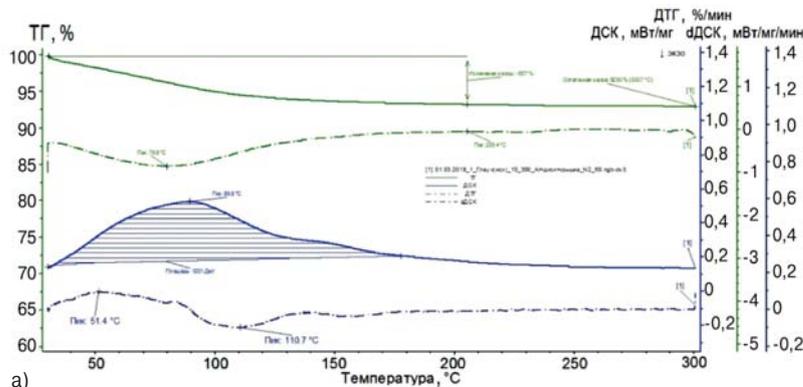


Рис. 3. Термограммы исходного (а) и термически активированного (б) влагонасыщенного образца глауконита

Fig. 3. Thermograms of the initial (a) and thermally activated (b) moisture-saturated glauconite sample

В составе глауконита выявлено 17 элементов, основную часть составляют кислород и кремний. Химический состав глауконита с учетом содержания воды следующий, % по массе: 46,88 O; Na 0,14; Mg 1,41; 4,89 Al; 30,76 Si; 0,35 P; 0,01 S; 0,02 Cl; 2,99 K; 1,53 Ca; 0,37 Ti; 0,02 Mn; 10,57 Fe; 0,01 Zn; 0,02 Rb; 0,02 Sr; 0,01 Zr.

Оксидный анализ состава образца, полученный в результате применения программы GEO-QUANT M, показал, что глауконит представляет собой однородную смесь оксидов следующего состава, % по массе: 0,16 Na<sub>2</sub>O; 2,06 MgO; 8,16 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 58,07 SiO<sub>2</sub>; 0,71 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 0,03 SO<sub>3</sub>; 3,18 K<sub>2</sub>O; 1,89 CaO; 0,54 TiO<sub>2</sub>; 0,02 MnO; 13,33 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,01 ZnO; 0,02 Rb<sub>2</sub>O; 0,02 SrO; 0,01 ZrO<sub>2</sub>; 7,30 H<sub>2</sub>O адсорбированная; 4,50 % потери при прокаливании.

Исследуемый минерал характеризуется переменным составом оксидов, определяемым природой происхождения, а также гомогенностью структуры. Особенностью данного измерения является изменение массы пробы в сторону увеличения после операции прокалывания, т.е. доля кислорода возрастает при дополнительном окислении, например, нестехиометрических соединений.

На основе анализа данных рентгеновской дифрактометрии установили фазовый состав образца глауконита (рис. 1). Обнаружены три фазы, состав и доля кристаллической фазы, %, следующие: 45 SiO<sub>2</sub>; 10 K<sub>1,7</sub>Al<sub>1,8</sub>Si<sub>34,2</sub>O<sub>72</sub>; 45 K(Fe,Al)<sub>2</sub>(Si,Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>.

Для исследования водопоглощения были взяты три образца глауконита с частицами размером >0,25 мм; 0,1–0,25 мм и 0,045–0,1 мм. Полученные результаты показали, что максимальное насыщение глауконита водой происходит приблизительно через пять минут от начала контактирования, а примерно с 10-ой минуты водопоглощение изменяется незначительно (рис. 2).

Фракция с частицами размером 0,045–0,1 мм, поглощающая наибольшее количество воды, была подвергнута термической активации. Эффективность термической обработки образцов глауконита оценивалась по водопоглощению и удерживающей способности сорбента по нефтепродуктам.

Как видно из рис. 2, обработка при температуре 600 °С уменьшает водопоглощение примерно в 1,3 раза, а при 1000 °С — в 1,6 раза. Это, вероятно, связано с тем, что при термической активации происходят изменения состава полярных центров, удерживающих молекулы воды.

Термический анализ влагонасыщенных образцов исходного и термически активированного глауконита был проведен при 600 и 1000 °С (рис. 3, а).

Кривые нагревания образцов глауконита, подвергшихся влиянию температуры при 600 и 1000 °С, практически одинаковы, на них отсутствуют тепловые эффекты, поэтому приведена еще одна термограмма (рис. 3, б). Приведенные рисунки свидетельствуют о том, что в результате термического воздействия происходят изменения в структуре глауконита. При этом, вероятно, уменьшается межслоевое расстояние [13]. Данные изменения приводят к разрушению гидратационных центров, способных поглощать воду. Поэтому термически активированные образцы глауконита практически не насыщаются парами воды.

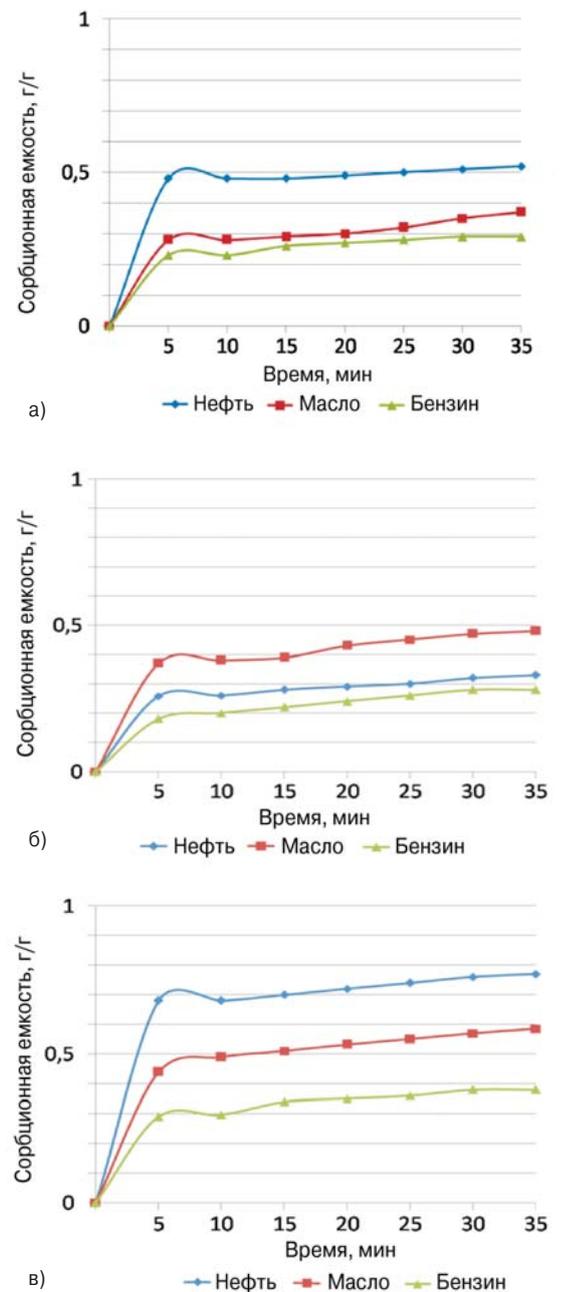
Как видно из рис. 3, а, на кривой ДСК наблюдается один эндотермический эффект, сопровождающийся поглощением тепла и изменением массы исходного образца глауконита на кривой ТГ, тепловой эффект соответствует удалению воды. Площадь пика дДСК пропорциональна изменению энтальпии реакции и массе образца и обратно пропорциональна его температуропроводности. Выделение основного

количества адсорбированной и межслоевой воды наблюдается в интервале температур 30–179 °С. Энтальпия дегидратации исходного образца глауконита составляет 0,12 Дж/кг (кривая ДСК). Потеря массы составляет 6,6 % (кривая ТГ). Полученные результаты свидетельствуют о том, что для исходного образца глауконита характерна гидратационная способность, определяемая полярными центрами в структуре и их доступностью. Этот факт, вероятно, будет влиять на процессы поглощения нефти и нефтепродуктов из водных систем.

Результаты поглощения нефти и нефтепродуктов образцами глауконита в зависимости от времени контакта и размера частиц представлены на рис. 4 (а–в). Как видно из рисунка, в первые пять минут наблюдается резкое нефтепоглощение глауконитом.

Дальнейшее увеличение времени контакта образцов глауконита сопровождается незначительным повышением нефтепоглощения. Полученные зависимости показывают, что этот процесс зависит от размера частиц глауконита. По степени нефтепоглощения образцы глауконита можно расположить в следующий ряд: 0,1–0,25 мм < 0,25 мм < 0,045–0,1 мм. Определено, что лучшие результаты получаются у фракции с частицами размером 0,045–0,1 мм.

При анализе результатов поглощения нефти и нефтепродуктов термически обработанными образцами глауконита (рис. 5, а, б) были установлены следующие особенности. Как видно из рисунка, поглощение нефти и нефтепродуктов образцом глауконита, термически обработанным при 1000 °С, характеризуется большими величинами по сравнению с образцом, полученным при 600 °С. Для обоих образцов лучше поглощается масло, в то время как для исходного — нефть. Активация глауконита при 1000 °С примерно в 1,4



**Рис. 4. Сорбционная ёмкость глауконита с размерами частиц:**  
 а — > 0,25 мм; б — 0,1–0,25 мм; в — 0,045–0,1 мм  
**Fig. 4. Sorption capacity of glauconite with particle sizes:**  
 а — > 0.25 mm; б — 0.1–0.25 mm; в — 0.045–0.1 mm

раза увеличивает маслопоглощение по сравнению с аналогичной величиной при 600 °С. Нефтепоглощение уменьшается после термической обработки глауконита при 600 °С в 1,3 раза и увеличивается в 1,25 раза при 1000 °С по сравнению с исходным образцом.

Термическая обработка фракции глауконита с частицами размером 0,045–0,1 мм при 600 °С в течение 2 ч приводит

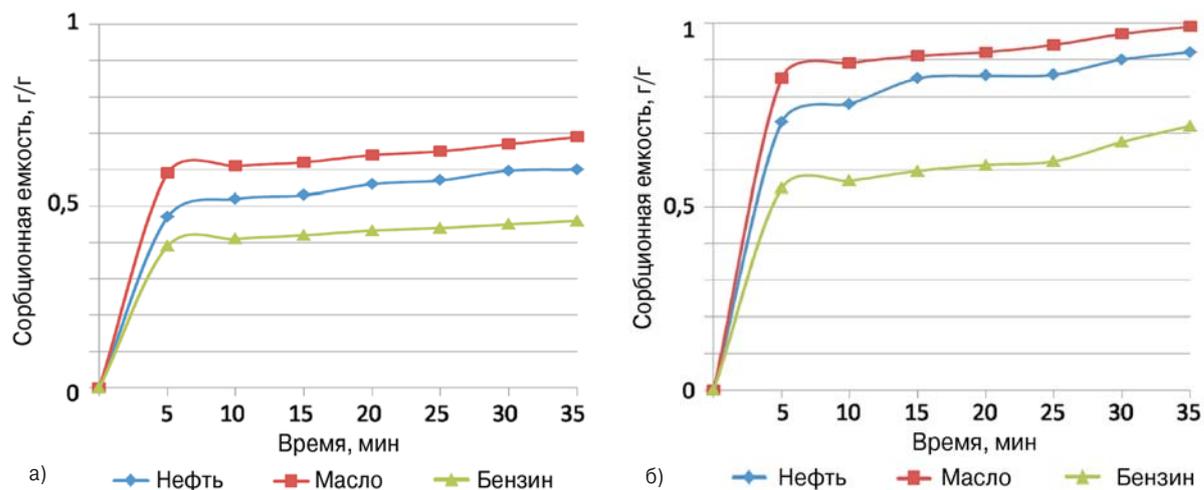


Рис. 5. Сорбционная ёмкость образцов глауконита с частицами размером 0,045–0,1 мм термически обработанных при температуре 600 °С (а) и 1000 °С (б)

Fig. 5. Sorption capacity of glauconite samples with particles of size 0.045–0.1 mm thermally treated at a temperature of 600 °C (a) and 1000 °C (b)

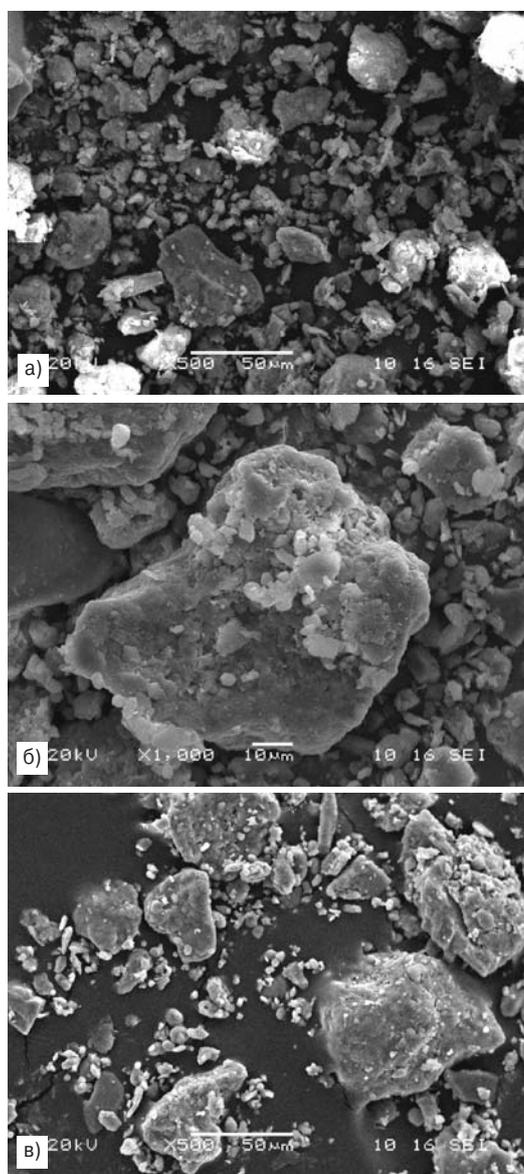


Рис. 6. Фотографии образцов исходного глауконита с частицами размером 0,045–0,1 мм (а), термически обработанных при температуре 600 °С (б) и 1000 °С (в)

Fig. 6. Photos of samples of the original glauconite with particles of size 0.045–0.1 mm (a) thermally treated at a temperature of 600 °C (b) and 1000 °C (c)

к изменению их поверхности (рис. 6, а, б). Это связано с потерей адсорбционной, межслоевой воды и гидроксильной группы. Сокращение межплоскостного расстояния в структуре глауконита должно приводить к уменьшению адсорбционной способности.

При сравнении данных рис. 4, в и 5, а видно, что поглощение нефти уменьшается, в то время как сорбция масла и бензина незначительно увеличивается. Термическая активация при 1000 °С приводит к появлению на поверхности частиц глауконита пор большого размера и трещин (рис. 6, в).

Образование данных дефектов способствует возрастанию сорбции нефти и нефтепродуктов (см. рис. 5, б).

### Заключение

Проведенные исследования показали, что гидратационная способность глауконита зависит от размера его частиц. При контакте образца 0,045–0,1 мм с водой и ее парами наблюдается наибольшее водопоглощение. В то же время этот образец обладает наилучшей способностью поглощать нефть. Термическая активация глау-

конита уменьшает его водопоглощение при прямом контакте в 1,3 раза при 600 °С и в 1,6 раза при 1000 °С. В то же время термически обработанные образцы практически не поглощают паров воды, потеря массы составила меньше 0,3 %, что подтвердили полученные термограммы. Все это свидетельствует о происходящих изменениях в структуре и составе минерального сорбента, что и влияет на его гидратационную способность.

Установлено, что термическая активация при 1000 °С сильно деформирует поверхность частиц глауконита. Это проявляется в образовании пор большего размера и многочисленных трещин в структуре по сравнению с исходным образцом глауконита. Сорбционная способность такого образца глауконита возрастает. При изучении процесса поглощения нефти минеральным сорбентом на водных объектах необходимо учитывать конкурирующий процесс, связанный с взаимодействием глауконита с водой. Для эффективного использования природного глауконита в процессах поглощения нефти и нефтепродуктов необходимо провести его термическую обработку при 1000 °С и использовать фракцию с частицами размером 0,045–0,1 мм.

## Литература

1. Нифталиев С.И., Перегудов Ю.С., Подрезова Ю.Г. Ферромагнитный сорбент для сбора нефти с водной поверхности. Экология и промышленность России. 2012. № 10. С. 24–25.
2. Иванова М.А., Зенитова Л.А. Сорбент для ликвидации разливов нефти на основе пенополиуретана и отходов пенополистирола. Экология и промышленность России. 2015. Т. 19. № 4. С. 42–46.
3. Обуздина М.В., Руш Е.А., Шалунц Л.В. Решение экологических проблем очистки сточных вод путем создания сорбента на основе цеолита. Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 8. С. 20–25.
4. Домрачева В.А., Трусова В.В., Остапчук Д.Е. Очистка сточных вод от нефтепродуктов с использованием углеродных сорбентов и отходов пенополимеров. Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 11. С. 25–29.
5. Калинина Е.В., Глушанкова И.С., Рудакова Л.В., Сабиров Д.О. Получение модифицированного сорбента на основе шламов содового производства для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов с поверхности воды. Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 5. С. 30–35.
6. Климов Е.С., Бузаева М.В. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод. Ульяновск, Изд-во УлГТУ, 2011. 201 с.
7. Бельчинская Л.И., Козлов К.А., Бондаренко А.В., Петухова Г.А., Губкина М.Л. Изучение структурных и адсорбционных характеристик при активации и модификации природных силикатов. Сорбционные и хроматографические процессы. Воронеж, Изд-во ВГУ, 2007. Т. 7. Вып. 4. С. 571–576.
8. Левченко М.Л., Губайдуллина А.М., Лыгина Т.З. Оптимальные технологии получения сорбентов и пигментов из природных силикатов сложного строения. Вестник Казанского технологического университета. 2009. № 4. С. 48–52.
9. Иванова Е.Н., Алехина М.Б., Ахназарова С.Л. Термическая активация цеолитов типа х. Успехи в химии и химической технологии. 2012. Т. 26. № 8 (137). С. 26–30.
10. Иванова Е.Н., Аверин А.А., Алехина М.Б., Соколова Н.П., Конькова Т.В. Термическая активация цеолитов типа X в присутствии диоксида углерода. Физикохимия поверхности и защита материалов. 2016. Т. 52. № 2. С. 185–190.
11. Патык-Кара Н.Г., Андрианова Е.А., Дубинчук В.Т., Левченко М.Л. Состав и элементы примеси глауконитов верхнемеловой формации центральных районов России. Доклады академии наук. 2008. Т. 423. № 6. С. 780–782.
12. Williams David B., Carter Barry C. Transmission Electron Microscopy. A Textbook for Materials Science. New York, Springer Science+Business Media. 2009. 780 p.
13. Григорьева Е.А., Антошкина Е.Г. Особенности структуры и сорбционные свойства глауконита Каринского месторождения. Молодой ученый. 2012. № 5. С. 121–124.

## References

1. Niftaliyev S.I., Peregudov Yu.S., Podrezova Yu.G. Ferromagnetic sorbent for oil collection from water surface. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2012. № 10. S. 24–25.
2. Ivanova M.A., Zenitova L.A. Sorbent for liquidation of oil spills on the basis of polyurethane foam and polystyrene waste. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2015. T. 19. № 4. S. 42–46.
3. Obuzdina M.V., Rush E.A., Shalunts L.V. Solution of ecological problems of wastewater purification by creating a sorbent on the basis of zeolite. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2017. T. 21. № 8. S. 20–25.
4. Domracheva V.A., Trusova V.V., Ostapchuk D.E. Purification of wastewater from petroleum products using carbon sorbents and polymeric foam waste. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2017. T. 21. № 11. S. 25–29.
5. Kalinina E.V., Glushankova I.S., Rudakova L.V., Sabirov D.O. Synthesis of modified sorbent on the basis of soda ash slag for liquidation of oil spills and petroleum products from water surface. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2018. T. 22. № 5. S. 30–35.
6. Klimov E.S., Buzaeva M.V. Natural sorbents and complexones in wastewater purification. Ulyanovsk, Izd-vo UIGTU, 2011. 201 p.
7. Bel'chinskaya L.I., Kozlov K.A., Bondarenko A.V., Petukhova G.A., Gubkina M.L. Study of structural and adsorption characteristics of natural silicates at activation and modification. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. Voronezh, Izd-vo VGU, 2007. T. 7. Vyp. 4. S. 571–576.
8. Levchenko M.L., Gubaidullina A.M., Lygina T.Z. Optimal technologies for obtaining sorbents and pigments from natural silicates of complex structure. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2009. № 4. S. 48–52.
9. Ivanova E.N., Alekhina M.B., Akhnazarova S.L. Thermal activation of zeolites of type X. *Uspexi v khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2012. T. 26. № 8 (137). S. 26–30.
10. Ivanova E.N., Averin A.A., Alekhina M.B., Sokolova N.P., Kon'kova T.V. Thermal activation of zeolites of type X in the presence of carbon dioxide. *Fizikokhimiya poverkhnosti i zashchita materialov*. 2016. T. 52. № 2. S. 185–190.
11. Patyk-Kara N.G., Andrianova E.A., Dubinchuk V.T., Levchenko M.L. Composition and impurity elements of glauconites of the upper Cretaceous formation of the central regions of Russia. *Doklady akademii nauk*. 2008. T. 423. № 6. S. 780–782.
12. Williams David B., Carter Barry C. Transmission Electron Microscopy. A Textbook for Materials Science. New York, Springer Science+Business Media. 2009. 780 p.
13. Grigor'eva E.A., Antoshkina E.G. Features of the structure and sorption properties of glauconite of the Karinskoye deposit. *Molodoi uchenyi*. 2012. № 5. S. 121–124.

С.И. Нифталиев — д-р хим. наук зав. кафедрой, Воронежский государственный университет инженерных технологий, 394036 Россия, г. Воронеж, пр. Революции 19, e-mail: sabukhi@gmail.com • Ю.С. Перегудов — канд. хим. наук, доцент, e-mail: inorganic\_033@mail.ru • Н.Я. Мокшина — д-р хим. наук, профессор, Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е.Жуковского и Ю.А. Гагарина, 394064 Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, e-mail: moksnad@yandex.ru • Р. Мэжри — аспирант, Воронежский государственный университет инженерных технологий, 394036 Россия, г. Воронеж, пр. Революции 19, e-mail: inorganic\_033@mail.ru • И.А. Саранов — инженер, e-mail: ois-vguit@mail.ru

S.I. Niftaliyev — Dr. Sci. (Chem.), Head of Department, Voronezh State University of Engineering Technologies, 394036 Russia, Voronezh, Revolution Ave. 19, e-mail: sabukhi@gmail.com • Yu.S. Peregudov — Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor, e-mail: inorganic\_033@mail.ru • N.Ya. Mokshina — Dr. Sci. (Chem.), Professor, The Air Force Academy named by Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, 394064 Russia, Voronezh, Starykh Bolshevikov Str., 54A, e-mail: moksnad@yandex.ru • R. Mezri — Post-graduate student, Voronezh State University of Engineering Technologies, 394036 Russia, Voronezh, Revolution Ave. 19, e-mail: inorganic\_033@mail.ru • I.A. Saranov — Engineer, e-mail: ois-vguit@mail.ru