



УДК 533.723.213

Об особенностях влияния слабого импульсного магнитного последствия на гидратационные свойства алюмосиликатов

Котова Д.Л.¹, Крысанова Т.А.¹, Новикова Л.А.²,
Бельчинская Л.И.², Давыдова Е.Г.³

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова»,
Воронеж

³ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж

Поступила в редакцию 11.02.2020 г.

DOI: 10.17308/sorpchrom.2020.20/2771

Природные каркасные и слоистые алюмосиликаты, обладающие высокими адсорбционными, ионообменными, молекулярно-ситовыми и каталитическими характеристиками, являются перспективными сорбентами для решения целого ряда актуальных задач. Активация сорбентов импульсным магнитным полем позволяет целенаправленно изменять их физико-химические и сорбционные свойства. При импульсной магнитной обработке имеет место как длительная, так и постоянная «память» после экспозиции. Одним из факторов, влияющим на избирательность сорбции компонентов, является гидратационная способность алюмосиликата, которая определяется структурой пор, химической природой поверхности и внекаркасных катионов.

В работе представлены результаты по исследованию влияния слабого импульсного магнитного поля (СИМП) и времени релаксации на гидратационные свойства каркасного (клиноптилолита) и слоистого (глауконита) алюмосиликатов.

Полученные изотермы адсорбции воды алюмосиликатами до и после воздействия СИМП со временем последствия 2 и 48 часов проанализированы с применением уравнения БЭТ. Более развитая пористость и поверхность клиноптилолита, в отличие от слабо набухающих слоистых минералов, а также природа и большая концентрация обменных катионов, обуславливают различие в гидратационной способности алюмосиликатов. Изменения энергетического состояния активных центров и структурных характеристик под влиянием СИМП отражается в различии сродства сорбентов к полярным молекулам воды. Магнитное последствие от 2 до 48 часов по-разному проявляется для каркасного и слоистого алюмосиликатов. Отмечено, что с увеличением времени экспозиции возможны диффузионно-релаксационные процессы, стремящиеся а к возвращению первоначального равновесного состояния, но с перераспределением энергии активных центров.

Ключевые слова: гидратация, алюмосиликаты, слабое импульсное магнитное поле

Введение

Природные алюмосиликаты, обладающие рядом уникальных свойств, таких как микро- и нанопористая структура, способность к ионному обмену, наличие поверхностных активных центров различной природы находят широкое применение в различных технологических процессах. Химическая и физическая модификация сорбентов позволяет целенаправленно изменять их физико-химические свойства и структурные характеристики [1-5]. В настоящее время отмечается повышенный интерес к исследованиям воздействия импульсного магнитного поля на механические и

физико-химические свойства различных материалов с целью управления их состоянием [5-9]. Представленные в литературе данные указывают на влияние слабого импульсного магнитного поля (СИМП) на сорбционные процессы [7-11]. Отмечается, что варьируя тип накладываемого электромагнитного поля возможно изменять селективность сорбентов по отношению к сорбционным материалам [10]. Следует отметить, что при магнитной обработке имеет место как длительная, так и постоянная «память» после экспозиции. Дальнейшие изменения свойств исследуемых материалов, происходящие за часы и даже сутки, могут определяться релаксационными процессами [9,12,13]. Степень гидратации сорбентов является одним из основных факторов, определяющих подвижность и химическую активность противоионов [14-16]. Представляет интерес исследовать влияние слабого импульсного магнитного поля и времени экспозиции на гидратацию алюмосиликатов, различающихся структурой.

Эксперимент

В качестве объектов исследования использовали цеолит Словацкого месторождения и глауконит (Глк), месторождения юго-запада Воронежской антеклизы. Состав цеолита представлен 95% клиноптилолита (Клн) и 5% гидрослюды. Клиноптилолит - каркасный алюмосиликат, первичной строительной единицей структуры которого, является тетраэдр. Каркасная структура характеризуется наличием взаимосвязанных полостей или каналов, в которых расположены внекаркасные катионы и молекулы воды, играющие важную роль в сорбционных процессах. Отрицательный заряд (AlO_4) каркаса матрицы компенсирован положительным зарядом катионов (K^+ , Ca^{2+} и Na^+), которые определяют локальное распределение заряда на поверхности полостей и каналов, доступных для молекул воды. Мольное отношение Si/Al , определяющее гидрофильно-гидрофобные свойства Клн, равно 5.5. Суммарный объем пор составляет $0.44 \text{ см}^3/\text{г}$, средний диаметр пор – 11.05 нм [4, 9].

Глауконит относится к слоистым минералам. Его структура представлена смешанно-слойными минералами (СМС) ряда иллит-сметтит (I-S) с соотношением слоев (I:S) равным 50:50 и 20:80. По данным элементного анализа в межслоевом пространстве расположены молекулы воды и обменные катионы K^+ , Mg^{2+} и Ca^{2+} . Суммарный объем пор составляет $0.31 \text{ см}^3/\text{г}$, средний диаметр пор – 5.7 нм [17,18].

Для обработки сорбентов в слабом импульсном магнитном поле (СИМП) бюкс с исследуемыми образцами сорбентов массой 0.50 г ($\pm 0.0002 \text{ г}$) помещали внутрь соленоида в установке, генерирующей СИМП со следующими параметрами: длительность импульса τ – 10 мкс ; период следования импульса T – $10 \text{ см}^3/\text{с}$; форма импульса полусинусоидальная; частота подачи импульсов f – 50 Гц . Время обработки алюмосиликатов в СИМП составило 30 с , при величине магнитной индукции поля $B=71 \text{ мТл}$ [19].

Изучение закономерности адсорбции паров воды Клн и Глк до и после воздействия импульсного магнитного поля со временем релаксации 2 и 48 часов изучали методом изопиестирования в широком интервале относительных давлений водяного пара (активности воды - a_w) от 0.110 до 0.980 при температуре $295 \pm 2 \text{ К}$. Исследуемые образцы сорбентов предварительно выдерживали при определенной температуре (клиноптилолит при 473 К , глауконит при 423 К) до постоянной массы, а затем помещали над P_2O_5 для дополнительного обезвоживания. Обезвоженные сорбенты приводили в изопиестическое равновесие с насыщенными растворами солей с известной активностью воды (a_w) [20]. Время, в течение которого устанавливалось изопиестическое равновесие в системе сорбент-вода, зависело от природы сорбента и активности воды и составляло от 3 до 12 суток. Количество поглощенной воды

(ммоль/г или мг/г сорбента) в состоянии равновесия определяли методом гравиметрии ($S_r=4.86 \cdot 10^{-3}$).

Метод ИК спектроскопии использовали для определения изменения состава сорбентов при воздействии СИМП в процессе гидратации. ИК спектры алюмосиликатов регистрировали на спектрометре Vertex 70 с Фурье преобразованием в режиме диффузионного отражения (Bruker, Германия) в диапазоне волновых чисел $400-4000 \text{ см}^{-1}$ с разрешением 4 см^{-1} . Ошибка метода составила 3 %. Для интерпретации полученных ИК спектров использовали литературу [21-23].

Обсуждение результатов

Полученные изотермы адсорбции воды алюмосиликатами, представляющие собой зависимость количества адсорбированной воды (n_w , моль/г) от ее активности (a_w) до и после воздействия СИМП при времени релаксации 2 и 48 ч, приведены на рис. 1 и 2. Более развитая пористость и поверхность клиноптилолита, в отличие от слабо набухающих слоистых минералов типа иллита, а также природа и большая концентрация обменных катионов, обуславливают различие в гидратационной способности алюмосиликатов [11,18]. Первые молекулы воды адсорбируются в результате ион-дипольного взаимодействия с активными центрами алюмосиликатов, в качестве которых выступают внекаркасные катионы и электроотрицательные центры каркаса сорбентов [2, 13-16].

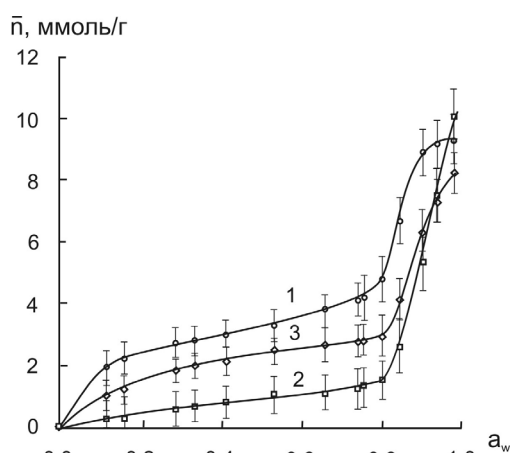


Рис.1. Изотермы адсорбции воды клиноптилолитом нативным (1) и обработанным СИМП при времени экспозиции 2 ч (2) и 48 ч (3)

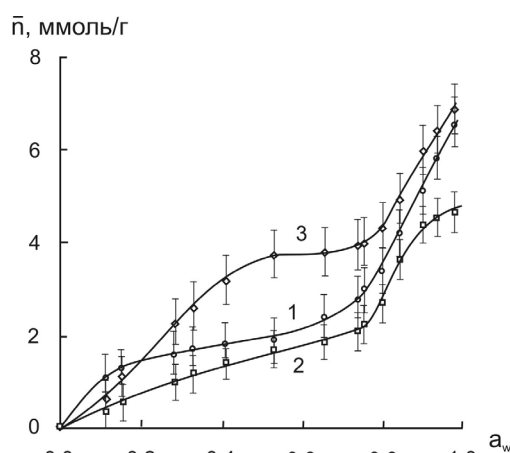


Рис.2. Изотермы адсорбции воды глауконитом нативным (1) и обработанным СИМП при времени экспозиции 2 ч (2) и 48 ч (3)

С повышением активности воды образуются ассоциаты вода-вода, расположенные вблизи этих центров. При $a_w > 0.700$ на изотермах наблюдается резкий подъем. Существенное значение приобретает капиллярная конденсация, в результате которой формируется полимолекулярный слой адсорбента [3, 11, 24].

Эффект активации алюмосиликатов СИМП со временем релаксации 2 часа отражается в изменении гидратационных свойств, в большей степени выраженное для клиноптилолита в области активности воды от 0.110 до 0.850. Следует также отметить, что при $a_w > 0.850$ адсорбция воды Клин увеличивается в 1.2 раза, тогда как для Глк – снижается в 1.4 раза. Кратковременное воздействие СИМП инициирует долговременный процесс изменения гидратационных свойств.

Магнитное последствие по-разному проявляется для каркасного и слоистого алюмосиликатов. Для каркасного алюмосиликата при экспозиции 48 ч изотерма приближается к исходной. Для слоистого алюмосиликата зависимость количества адсорбированной воды от ее активности носит немонотонный характер, и гидратация возрастает по сравнению с нативным образцом.

Увеличение времени экспозиции до 48 часов для КЛн отражается в меньшем изменении его гидратационных свойств. При $a_w=0.200$ адсорбция воды каркасным алюмосиликатом при времени релаксации 2 часа снижается в 8 раз, 48 часов – в 1.5 раза. Увеличение времени последствия СИМП от 2 до 48 часов проявляется в снижении активности воды. При адсорбции двух молекул воды их активность под действием СИМП изменяется при времени релаксации 2 часа от 0.110 до 0.850, при 48 часов до 0.420.

Для слоистого алюмосиликата при времени экспозиции 48 часов наблюдается изменение вида изотермы. При $a_w>0.200$ гидратация глауконита возрастает по сравнению с нативным алюмосиликатом. При адсорбции ГЛн 2 молекул воды их активность при времени экспозиции равным 2 ч возрастает от 0.530 до 0.750, а при 48 часов – снижается до 0.280.

Для описания изотерм адсорбции воды применяли уравнение теории БЭТ (1) в линейном виде (2) [25,26]:

$$n = \frac{n_{mono} \cdot K_L \cdot a_w}{(1 - K_S a_w)(1 - K_S a_w + K_L a_w)}, \quad (1)$$

$$\frac{a_w}{n(1 - K_S a_w)} = \left(\frac{K_L - K_S}{n_{mono} K_L} \right) a_w + \frac{1}{n_{mono} K_L}, \quad (2)$$

где n – количество адсорбированной воды при определенной ее активности (моль/г); n_{mono} – емкость монослоя (ммоль/г); a_w – равновесная активность воды; K_L – константа, характеризующая сродство молекул воды к сорбенту; K_S – коэффициент сорбционного равновесия при образовании монослоя, который выбирается исходя из того, что коэффициент аппроксимации линейной зависимости должен быть максимальным.

Теплоту адсорбции воды (Q_1 , кДж/моль) и удельную поверхность ($S_{уд}$, м²/г) сорбентов рассчитывали, используя уравнения [27]:

$$RT \ln R_L = Q_1 - Q_L \quad (3)$$

$$S_{уд} = n_{mono} N_A \omega \quad (4)$$

где Q_1 – теплота адсорбции молекул воды в первом слое (кДж/моль); Q_L – теплота конденсации воды ($Q_L=135.9$ Дж/моль); N_A – число Авогадро ($6.022 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹); ω – площадь, занимаемая одной молекулой адсорбата в монослое ($\omega_{H_2O}=10.8 \cdot 10^{-20}$ м²); R – универсальная газовая постоянная (8.31441 Дж/моль · К); T – абсолютная температура (К).

Рассчитанные адсорбционные и структурные характеристики для КЛн и ГЛт приведены в таблицах 1 и 2.

Высокие значения коэффициента корреляции (R^2) позволяют использовать теорию БЭТ для описания изотерм адсорбции воды нативным клиноптилолитом и обработанным СИМП со временем экспозиции 2 ч до $a_w=0.530$ и 48 ч до $a_w=0.800$; для глауконита - во всех случаях до $a_w=0.530$.

Активация сорбентов СИМП при времени релаксации 2 ч проявляется в снижении предельной емкости монослоя для клиноптилолита в 4.7 раза, глауконита – в полтора раза. На изменение структурных характеристик указывает уменьшение

удельной поверхности, в большей степени выраженное для клиноптилолита. Необходимо принимать во внимание более развитую поверхность каркасного алюмосиликата в отличие от слабо набухающих слоистых минералов типа иллита [17,18].

Таблица 1. Адсорбционные и структурные характеристики клиноптилолита

| Клиноптилолит | K_L | $n_{\text{моно}},$ ммоль/г | K_S | $Q_1,$ кДж/моль | $S_{\text{уд}},$ м ² /г | R^2 |
|---|-------|-------------------------------|-------|--------------------|------------------------------------|-------|
| Нативный | 6.37 | 3.82 | 0.33 | 4.71 | 248.4 | 0.97 |
| Обработанный СИМП (время релаксации 2 ч) | 4.61 | 0.67 | 0.75 | 3.86 | 43.6 | 0.94 |
| Обработанный СИМП (время релаксации 48 ч) | 5.83 | 2.61 | 0.30 | 12.07 | 169.8 | 0.99 |

Таблица 2. Адсорбционные и структурные характеристики глауконита

| Глауконит | K_L | $n_{\text{моно}},$ ммоль/г | K_S | $Q_1,$ кДж/моль | $S_{\text{уд}},$ м ² /г | R^2 |
|---|-------|-------------------------------|-------|--------------------|---------------------------------------|-------|
| Нативный | 10.11 | 1.95 | 0.40 | 5.92 | 126.8 | 0.98 |
| Обработанный СИМП (время релаксации 2 ч) | 3.95 | 1.30 | 0.99 | 1.61 | 84.5 | 0.92 |
| Обработанный СИМП (время релаксации 48 ч) | 5.35 | 3.59 | 0.35 | 4.22 | 233.5 | 0.97 |

Следует отметить, что изменение времени экспозиции после воздействия СИМП от 2 до 48 часов для клиноптилолита отражается в увеличении в 4 раза удельной поверхности сорбента и количества молекул воды, участвующих в образовании монослоя. Для слоистого алюмосиликата (Глн) отмечается возрастание предельной емкости монослоя и удельной поверхности сорбента в 2.7 раза.

Выводы, сделанные авторами работ [8,12,13], об изменении ориентации диполей активных центров сорбентов после активации в СИМП, находят подтверждение в различии значений теплоты адсорбции воды (Q_1). Изменение сродства алюмосиликатов к полярным молекулам воды указывает на возможность варьирования под действием СИМП гидрофильно-гидрофобных свойств алюмосиликатов.

Согласно данным литературы [28, 29] после магнитной обработки наблюдаются пост-эффекты, которые определяются атомно-диффузионными релаксационными процессами в неравновесной системе преобразованных магнитным полем комплексов за счет снятия запрета на спин-зависимые электронные переходы, что приводит к трансформации структуры. Можно предположить, что с увеличением времени экспозиции происходят диффузионно-релаксационные процессы, стремящиеся к возвращению первоначального равновесного состояния, но с перераспределенной энергией активных центров.

Активация СИМП отражается на ИК спектрах алюмосиликатов в области деформационных ($1550-1690 \text{ см}^{-1}$) и валентных колебаний ($2900-3700 \text{ см}^{-1}$) воды. Отмечается снижение интенсивности максимума поглощения для клиноптилолита при 3730 см^{-1} и глауконита при 3780 см^{-1} , отвечающего колебаниям свободных ОН-

групп. Полоса поглощения, характерная для связи вода – вода, смещается для клиноптилолита (3630→3640 см⁻¹) и глауконита (3560→3570 см⁻¹) в высокочастотную область спектра. Сдвиг максимума поглощения, характеризующего молекулы воды, локализованные у активных групп, в высокочастотную область спектра (для клиноптилолита 3400→3405 см⁻¹, 3315→3330 см⁻¹; глауконита 3390→3395 см⁻¹), указывает на изменение энергетического состояния этих центров [22, 28, 29].

С увеличением времени экспозиции от 2 до 48 ч отмечается рост интенсивности полос поглощения в области деформационных и валентных колебаний воды. Зафиксировано смещение в низкочастотную область спектра максимумов поглощения, отвечающих молекулам воды, расположенным вблизи активных центров (для Клн 3415→3395 см⁻¹, 3328→3310 см⁻¹; для Глт 3395→3380 см⁻¹) и образующим ассоциаты (Клн 3635→3620 см⁻¹; Глт 3568→3521 см⁻¹).

Заключение

Выявлено влияние слабого импульсного магнитного поля и времени релаксации на гидратационные свойства природных алюмосиликатов - клиноптилолита и глауконита. Проведен анализ изотерм адсорбции воды с применением уравнения БЭТ. Полученные значения теплоты адсорбции воды и удельной поверхности алюмосиликатов указывают на проявление эффекта воздействия СИМП и времени экспозиции на структурные и энергетические свойства алюмосиликатов, в разной степени выраженные для клиноптилолита и глауконита.

Список литературы

1. Rivera A., Farias T. // *Micropor. and Mesopor. Materials*. 2005. Vol. 80. No 1-3. pp. 337-346. doi:10.1016/j.micromeso.2005.01.011
2. Lam A., Rivera A. // *Micropor. and Mesopor. Materials*. 2006. Vol. 91. No 1-3. pp.181. DOI: 10.1016/j.micromeso.2005.11.035
3. Kotova D.L., Vasilyeva S.Yu., Krysanova T.A. et al. // *Nanotechnologies in Russia*. 2014. Vol. 9. No. 9-10. pp. 474-479. DOI: 10.1134/S1995078014050097
4. Бельчинская Л.И., Ходосова Н.А., Стрельникова О.Ю. и др. // *Физикохимия поверхности и защита металлов*. 2015. Т.51. №5. С.1-8. DOI: 10.7868/S0044185615050046
5. Украинцев В.Б., Мацура В.А., Потехин В.В. и др. // *Журн. орг. химии*. 2005. Т.75. Вып.8. С.1329-1332.
6. Левин М.Н., Татаринцев А.В., Косцова О.А., Косцов А.М. // *Журн. техн. физики*. 2003. Т.73. Вып.10. С.85-87.
7. Кривошеев С.И., Шнеерсон Г.А., Платонов В.В. и др. // *Журн. техн. физики*. 2016. Т.86. Вып.1. С.127-131.
8. Постников В.В., Левин М.Н., Матвеев Н.Н. и др. // *Письма в ЖТФ*. 2005. Т.31. Вып. 9. С.14-19.
9. Бельчинская Л.И., Ходосова Н.А., Битюцкая Л.А. // *Физикохимия поверхности и защита металлов*. 2009. Т.45. №2. С.218-221.
10. Бельчинская Л.И., Ходосова Н.А., Новикова Л.А. и др. // *Физикохимия поверхности и защита металлов*. 2017. Т.53. №5. С.472-479. DOI: 10.7868/S0044185617040027
11. Котова Д.Л., Артамонова М.Н., Крысанова Т.А. и др. // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2016. Т.16. №3. С.390-395.
12. Урусовская А.А., Альшиц В.И., Смирнов А.Е., Беккауэр Н.Н. // *Кристаллография*. 2003. Т. 48. №5. С. 855-872.
13. Волчков И.С., Каневский В.М., Павлюк М.Д. // *Письма в ЖЭТФ*. 2018. Т. 107. Вып. 3-4. С. 276-279. DOI: 10.7868/S0370274X18040124
14. Korkuna O., Vrublevska T., Leboda R. et al. // *Microporous and Mesoporous Mater.* 2006. Vol. 87. No 3. pp. 243-254. DOI: 10.1016/j.micromeso.2005.08.002
15. Alver B.E., Sakizci M., Yorukogullari E. // *J. Therm. Anal. Calorim.* 2010. Vol. 100. Iss.1. pp. 19-26. DOI: 10.1007/s10973-009-0118-0

16. Arcoya A., Gonzalez J. A., Llabre G. et al. // *Microporous Mater.* 1996. Vol. 7. pp. 1-13. DOI:10.1016/0927-6513(96)00022-3
17. Жабин А.В., Савко А.Д. Глаукониты Воронежской антеклизы. Очерки по региональной технологии. Саратов: Наука. 2008. С.48-56.
18. Новикова Л.А., Бельчинская Л.И. Крупская В.В. и др. // *Сорбционные и хроматографические процессы.* 2015. Т. 15. № 5. С.730-740.
19. Анисимов М.В. Разработка методов воздействия электромагнитных полей на наполнители клеевых композиций для повышения экологичности и прочности фанеры: дис ... канд. техн. наук 05.21.05. Воронеж: Воронежская государственная лесотехническая академия, 2014. 298 с.
20. Киргинцев А.Н. Очерки о термодинамике водно-солевых систем. Новосибирск: Наука. 1976. 200 с.
21. Joshi M.S., Joshi V.V., Choudhary A.L., Kasture M.W. // *Materials Chemistry and Physics.* 1997. Vol. 48. pp. 160-163.
22. Литтл Л. ИК спектры адсорбционных молекул. М. Мир. 1969. 514 с.
23. Mozgawa W., Sitarz M., Rokita M. // *J. Mol. Struct.* 1999. Vol. 512. pp. 251-257.
24. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. М. Мир. 1976. 760 с.
25. Грег С. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. М. Мир. 1984. 396 с.
26. Amanollah E. // *Absorption.* 2009. Vol. 15. No 1. pp. 65-73.
27. Тарасевич Ю.И., Овчаренко Ф.Д. Адсорбция на глинистых минералах. Киев: Наукова думка. 1875. 352 с.
28. Roberge D.M., Hausmann H., Hölderich W.F. // *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2002. Vol. 4 (13). pp. 3128-3135. DOI: 10.1039/B110679C
29. Stelzer J., Paulus M., Hunger M., Weitkamp J. // *Microporous and Mesoporous materials.* 1998. Vol.22. pp.1-8.

Peculiarities of the effect of a weak pulsed magnetic aftereffect on the hydration properties of aluminosilicates

© 2020 Kotova D.L.¹, Krysanova T.A.¹, Novikova L.A.²,
Belchinskaya L.I.², Davydova E.G.³

¹Voronezh State University, Voronezh

²Morozov Voronezh State Forest Engineering University, Voronezh

³Voronezh State Technical University, Voronezh

Natural frame and layered aluminosilicates with high adsorption, ion exchange, molecular sieve, and catalytic characteristics are promising sorbents which can be used to solve a number of important problems. Activation of sorbents by a pulsed magnetic field allows purposefully changing their physical, chemical, and sorption properties. Pulsed magnetic processing is accompanied by both long-term and permanent "memory" after exposure. One of the factors affecting the selectivity of the sorption of components is the hydration ability of the aluminosilicate, which is determined by the pore structure, the chemical nature of the surface, and the inside the frame cations.

The article presents the results of the study of the effect of a weak pulsed magnetic field (WPMF) and relaxation time on the hydration properties of frame (clinoptilolite) and layered (glauconite) aluminosilicates.

The obtained isotherms of water adsorption by aluminosilicates before and after the exposure to WPMF with a post-action time of 2 and 48 hours were analysed using the BET equation. The more developed porosity and surfaces of clinoptilolite, in contrast to slightly swollen layered minerals, as well as the nature and high concentration of exchange cations, are responsible for the differences in the hydration capacity of aluminosilicates. Changes in the energy state of active centres and structural characteristics under the influence of WPMF are reflected in the difference in the affinity of sorbents to polar water molecules. The magnetic aftereffect from 2 to 48 hours is manifested differently for frame and layered aluminosilicates. It was noted that with the increase in the time of exposure, diffusion-relaxation processes are possible, which tend to return to the original equilibrium state but with the energy redistributed in the active centres.

Keywords: hydration, aluminosilicates, weak pulsed magnetic field/

References

1. Rivera A., Farias T., *Micropor. and Mesopor. Materials.*, 2005, Vol. 80, No 1-3, pp.337-346.
2. Lam A., Rivera A., *Micropor. and Mesopor. Materials*, 2006, Vol. 91, No 1-3, pp. 181.
3. Kotova D.L., Vasilyeva S.Yu., Krysanova T.A. et al., *Nanotechnologies in Russia*, 2014, Vol. 9, No 9-10, pp. 474-479.
4. Bel'chinskaya L.I., Khodosova N.A., Strel'nikova O.YU., et al., *Fizikokhimiya poverkhnosti i zashchita metallov*, 2015, Vol. 51, No 5, pp. 1-8.
5. Ukraintsev V.B., Matsura V.A., Potekhin V.V. et al., *Zhurn. org. khimii*, 2005, Vol. 75, Vyp. 8, pp. 1329-1332.
6. Levin M.N., Tatarintsev A.V., Kostsova O.A., Kostsov A.M., *Zhurn. tekhn. fiziki.*, 2003, Vol. 73, Vyp.10, pp. 85-87.
7. Krivosheyev S.I., Shneyerson G.A., Platonov V.V. et al., *Zhurn. tekhn. Fiziki*, 2016, Vol. 86, Vyp. 1, pp. 127-131.
8. Postnikov V.V., Levin M.N., Matveyev N.N. et al., *Pis'ma v ZHTF*, 2005, Vol. 31, Vyp. 9. pp.14-19.
9. Bel'chinskaya L.I., Khodosova N.A., Bityutskaya L.A., *Fizikokhimiya poverkhnosti i zashchita metallov*, 2009, Vol. 45, No 2, pp.218-221.
10. Bel'chinskaya L.I., Khodosova N.A., Novikova L.A. et al., *Fizikokhimiya poverkhnosti i zashchita metallov*, 2017, Vol.53, No 5, pp. 472-479.
11. Kotova D.L., Artamonova M.N., Krysanova T.A. et al., *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*, 2016, Vol.16, No 3, pp. 390-395.
12. Urusovskaya A.A., Al'shits V.I., Smirnov A.Ye., Bekkauer N.N., *Kristallografiya*, 2003, Vol. 48, No 5, pp. 855-872.
13. Volchkov I.S., Kanevskiy V.M., Pavlyuk M.D., *Pis'ma v ZHETF*, 2018, Vol. 107, Vyp. 3-4, pp. 276-279.
14. Korkuna O., Vrublevs'ka T., Lebeda R. et al., *Microporous and Mesoporous Mater.*, 2006, Vol. 87, No 3, pp. 243-254.
15. Alver B.E., Sakizci M., Yorukogullari E., *J. Therm. Anal. Calorim.*, 2010, Vol. 100, Iss.1, pp. 19-26.
16. Arcoya A., Gonzalez J. A., Llabre G. et al., *Microporous Mater.*, 1996, Vol. 7, pp. 1-13.
17. Zhabin A.V., Savko A.D. Glaukonity Voronezhskoy anteklizy. Ocherki po regional'noy tekhnologii. Saratov, Nauka, 2008, pp. 48-56.
18. Novikova L.A., Belchinskaya L.I., Krupskaya V.V. et al., *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*, 2015, Vol. 15, No 5, pp.730-740.
19. Anisimov M.V. Razrabotka metodov vozdeystviya elektromagnitnykh poley na napolniteli kleyevykh kompozitsiy dlya povysheniya ekologichnosti i prochnosti fanery: dis ... kand. tekhn. nauk 05.21.05. Voronezh: Voronezhskaya gosudarstvennaya lesotekhnicheskaya akademiya, 2014, 298 p.
20. Kirgintsev A.N., Ocherki o termodinamike vodno-solevykh system, Novosibirsk, Nauka, 1976, 200 p.
21. Joshi M.S., Joshi V.V., Choudhary A.L., Kasture M.W., *Materials Chemistry and Physics*, 1997, Vol. 48, pp. 160-163.
22. Littl L., IK spektry adsorbtsionnykh molekul, M., Mir, 1969, 514 p.
23. Mozgawa W., Sitarz M., Rokita M., *J. Mol. Struct.*, 1999, Vol. 512, pp. 251-257.
24. Brek D. Tseolitovyie molekulyarnyye sita, M., Mir, 1976, 760 p.
25. Greg S. Adsorbtsiya, udel'naya poverkhnost', poristost', M., Mir, 1984, 396 p.
26. Amanollah E., Absorption, 2009, Vol. 15, No 1, pp. 65-73.
27. Tarasevich YU.I., Ovcharenko F.D. Adsorbtsiya na glinistykh mineralakh, Kiyev, Naukova dumka, 1875, 352 p.
28. Roberge D.M., Hausmann H., Hölderich W.F., *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2002, Vol. 4 (13), pp. 3128-3135.
29. Stelzer J., Paulus M., Hunger M., Weitkamp J., *Microporous and Mesoporous materials*, 1998, Vol. 22, pp. 1-8.

Котова Диана Липатьевна – д.х.н., профессор кафедры аналитической химии Воронежского государственного университета

Крысанова Татьяна Анатольевна – к.х.н., доцент кафедры аналитической химии Воронежского государственного университета, takrys@yandex.ru

Kotova Diana L. – Dr. of Sci (Chemistry), professor at Department of Analytical Chemistry, Voronezh State University

Krysanova Tatiana A. - Ph.D (Chemistry), associate professor at Department of Analytical Chemistry, Voronezh State University, takrys@yandex.ru

Новикова Людмила Анатольевна – к.х.н., доцент, и.о. зав. кафедрой химии, Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, chem@vgltu.ru

Бельчинская Лариса Ивановна - д.тех.н., профессор кафедры химии, Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова

Давыдова Екатерина Геннадьевна - к.х.н., доцент кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета

Novikova Lyudmila A. - Ph.D (Chemistry), associate professor, acting chair of department of chemistry, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov”, chem@vgltu.ru

Belchinskaya Larisa I. - Dr. of Sci (Technical Science), professor at department of Chemistry, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Davydova Ekaterina G. - Ph.D (Chemistry), associate professor at Department of Chemistry and Chemical Technology of materials, Voronezh State Technical University