

---

doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2019.05.082>

УДК 544.72:547.24:544.032.7

**В.В. Туров, И.И. Геращенко, Т.В. Крупская, Е.А. Степанюк**

Институт химии поверхности им. А.А. Чуйко НАН Украины, Киев

E-mail: [krupaska@ukr.net](mailto:krupaska@ukr.net)

## **Особенности формирования композитной системы полиметилсилоксан/кремнезем/вода в присутствии поверхностно активного вещества—декаметоксина**

*Представлено членом-корреспондентом НАН Украины В.В. Туровым*

*Методом низкотемпературной  $^1\text{H}$  ЯМР спектроскопии изучено связывание воды в гидратированных порошках полиметилсилоксана (ПМС), кремнезема и композитной системе ПМС/ $\text{SiO}_2$ /декаметоксин/ $\text{H}_2\text{O}$ . Показано, что при заполнении межчастичных зазоров ПМС способом гидроуплотнения межфазная энергия воды в межчастичных зазорах гидрофобного ПМС при одинаковой гидратированности вдвое превосходит межфазную энергию воды в гидрофильном кремнеземе. В композитной системе ПМС/ $\text{SiO}_2$ /декаметоксин/ $\text{H}_2\text{O}$  происходит неаддитивный рост энергии связывания воды, который, вероятно, обусловлен формированием под влиянием механической нагрузки в присутствии воды микрогетерогенных участков, состоящих преимущественно из гидрофобной и гидрофильной компонент. Таким образом, с помощью механических нагрузок, а также путем добавления поверхностно активного вещества, можно управлять адсорбционными и гидратными свойствами композитных систем.*

**Ключевые слова:** полиметилсилоксан, гидрофильный диоксид кремния, метилкремнезем, декаметоксин.

Новые полифункциональные адсорбенты, в том числе медицинского назначения, могут быть созданы на основе смесей гидрофобного и гидрофильного кремнеземов. При этом разнородные составляющие композитной системы сорбируют разные типы веществ, что существенно расширяет область их применения. Однако возникают трудности перевода гидрофобных компонент в водную среду. Этот процесс может осуществляться путем их предварительного смачивания органическими растворителями (в последующем удаляемых путем декантации) [1] или гидроуплотнения гидрофобного порошка совместно с жидкой водой, количество которой должно быть достаточным для заполнения межчастичных зазоров [2–5]. Уже первые эксперименты по сопоставлению влияния на граничные слои воды пирогенного кремнезема и его метилированного аналога (метилкремнезема) [1] показали, что гидрофобизация поверхности кремнезема может приводить не к уменьшению, а к росту величины энергии связывания воды с поверхностью. Эти результаты подтверждаются данными работы [2], в которой описан простой способ перевода гидрофобных порошков в водную среду путем их перетирания с водой в фарфоровой ступке. Показано, что во влаж-

© В.В. Туров, И.И. Геращенко, Т.В. Крупская, Е.А. Степанюк, 2019

ных порошках гидрофобного и гидрофильного кремнезема, содержащих равное по массе количество воды, фиксируются близкие по величине значения межфазной энергии воды.

Полиметилсилоксановые адсорбенты — гидро- или ксерогели метилкремниевой кислоты, синтезируют из метилтрихлорсилана [6–8]. На первой стадии в реакции с водой образуется непористый полиметилсилоксан, который затем растворяют в растворе щелочи (NaOH или KOH). При этом образуется метилсиликонат натрия (или калия), который после добавления необходимого для нейтрализации щелочи количества кислоты (HCl или H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) превращается в гель метилкремниевой кислоты. Этот гель отмывают водой от остатков кислоты и соли, после чего его можно использовать в качестве энтеросорбента как в гелеобразном, так и в высушенном состоянии [9, 10]. Дополнительным фактором воздействия на гетерогенную гидрофобно-гидрофильную систему может служить механическое воздействие и присутствие поверхностно активных веществ.

Целью исследования было определение строения гидратного слоя в ксерогеле полиметилсилоксана (ПМС) в условиях высокой гидратированности поверхности и влияния на параметры связывания воды присутствия гидрофильного кремнезема и поверхностно активного вещества — декаметоксина (ДМТ), а также гидрофобной среды (CDCl<sub>3</sub>). Связывание воды изучалось с помощью метода низкотемпературной <sup>1</sup>H ЯМР спектроскопии, которая позволяет по величине химического сдвига воды судить об упорядоченности сетки водородных связей межфазной воды, а по депрессии температуры замерзания рассчитывать термодинамические характеристики связанной воды и распределения по радиусам кластеров воды, локализованной в межчастичных зазорах ксерогеля ПМС [11, 12].

**Экспериментальная часть.** В качестве исходного материала использовали 6 % гель метилкремниевой кислоты (“Креомафарм”, Украина), реализуемый в торговой сети в качестве энтеросорбента для лечения расстройств пищеварительной системы. После высушивания при комнатной температуре содержание воды в сухом ПМС составляло менее 1 % массы сухого вещества. Перевод в водную среду осуществляли путем растирания порошка ПМС с равным по массе количеством дистиллированной воды в фарфоровой ступке до формирования однородного композита ПМС/вода, насыпная плотность ( $C_d$ ) которого во влажном состоянии составляла 500 мг/см<sup>3</sup>. Пирогенный кремнезем марки А-300 (Калушский опытно-экспериментальный завод) имел удельную поверхность по БЭТ ( $S_{БЭТ}$ ) 295 м<sup>2</sup>/г и насыпную плотность 60 мг/см<sup>3</sup>. Для приготовления композитной системы ПМС/SiO<sub>2</sub>/ДМТ сухие ингредиенты брали в соотношении 30/68/2, а для системы ПМС/ДМТ — 30/2. Их тщательно растирали в фарфоровой ступке до формирования однородной смеси. Увлажнение образца проводили путем добавления к сухому порошку ПМС или композиту равного по массе количества дистиллированной воды. Затем образец растирали в фарфоровой ступке в течение 10 мин. При этом происходило гидроуплотнение материала и его насыпная плотность составляла 200–300 мг/см<sup>3</sup>. Предполагалось, что под влиянием механической нагрузки в образце смогут формироваться микрогетерогенные участки, состоящие преимущественно из гидрофобных или гидрофильных компонентов. Количество воды для всех изученных систем было одинаковым ( $C_{H_2O} = 1000$  мг/г) и достаточным для заполнения основной части межчастичных зазоров.

Спектры ЯМР получали на ЯМР спектрометре высокого разрешения (Varian “Mercury”) с рабочей частотой 400 МГц. Использовали 90° зондирующий импульс длительностью

3 мкс. Температура в датчике регулировалась термopриставкой Bruker VT-1000 с точностью  $\pm 1$  град. Интенсивности сигналов определяли путем измерения площади пиков с использованием процедуры разложения сигнала на его составляющие в предположении гауссовской формы линии, оптимизации нулевой линии и фазы с точностью, которая для хорошо разрешенных сигналов была не ниже  $\pm 5$  %. Для предотвращения переохлаждения воды в исследуемых объектах концентрацию незамерзающей воды измеряли при нагревании образцов, предварительно охлажденных до температуры 210 К. Методика ЯМР-измерений, определения термодинамических характеристик и расчета радиуса кластеров межфазной воды подробно описана в [11, 12].

**Результаты и их обсуждение.** Снятые при разных температурах спектры  $^1\text{H}$  ЯМР воды в изученных системах на воздухе приведены на рис. 1.

С понижением температуры интенсивность сигнала воды уменьшается ввиду частичного замерзания воды в межчастичных зазорах. Тогда, зная общее количество воды в образцах ( $C_{\text{H}_2\text{O}} = 1000$  мг/г), по интегральному значению интенсивности сигнала воды можно для каждой температуры ( $I_T$ ) определить концентрацию незамерзающей воды ( $C_{\text{uw}} = (I_T/I_{280}) \cdot 1000$ ) и построить зависимости  $C_{\text{uw}}(T)$ . Процесс замерзания (таяния) межфазной воды, локализованной в твердой пористой матрице, проходит в соответствии с изменениями свободной энергии Гиббса, обусловленными влиянием поверхности. Оно тем меньше, чем дальше от поверхности изучаемый слой воды. При  $T = 273$  К замерзает вода, свойства которой не отличаются от объемных, а по мере понижения температуры (без учета эффекта переохлаждения) замерзают слои воды, все ближе расположенные к поверхности, причем для межфазной воды справедливо соотношение

$$\Delta G_{\text{ice}} = -0,036(273,15 - T), \quad (1)$$

где численный коэффициент представляет собой параметр, связанный с температурным коэффициентом изменения свободной энергии Гиббса для льда [13].

Межфазная энергия твердых тел или биополимеров определялась как модуль суммарного понижения свободной энергии абсорбированной воды, обусловленного наличием внутренней границы раздела фаз вода—полимер по формуле

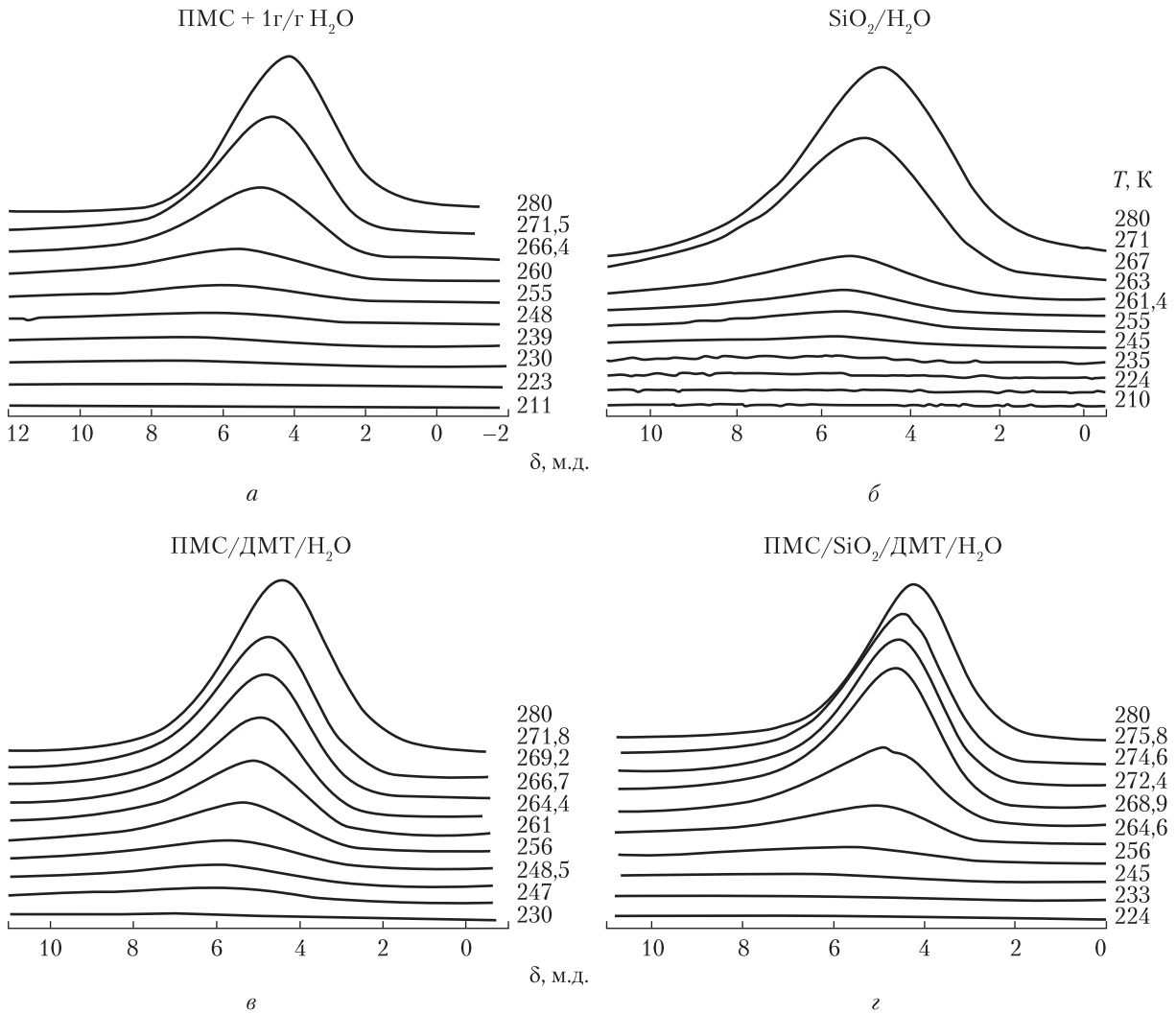
$$\gamma_S = -K \int_0^{C_{\text{uw}}^{\text{max}}} \Delta G(C_{\text{uw}}) dC_{\text{uw}}, \quad (2)$$

где  $C_{\text{uw}}^{\text{max}}$  — общее количество незамерзающей воды при  $T = 273$  К.

Величина межфазной энергии является удобным параметром, который позволяет сравнивать энергию связывания воды в разных системах, особенно если количество воды в них одинаковое.

При этом для определения геометрических размеров ограниченных твердой поверхностью наноразмерных агрегатов жидкости может быть использовано уравнение Гиббса—Томсона [14, 15], связывающее радиус сферических или цилиндрических пор ( $R$ ) с величиной депрессии температуры замерзания:

$$\Delta T_m = T_m(R) - T_{m,\infty} = \frac{2\sigma_{sl}T_{m,\infty}}{\Delta H_f \rho R}, \quad (3)$$

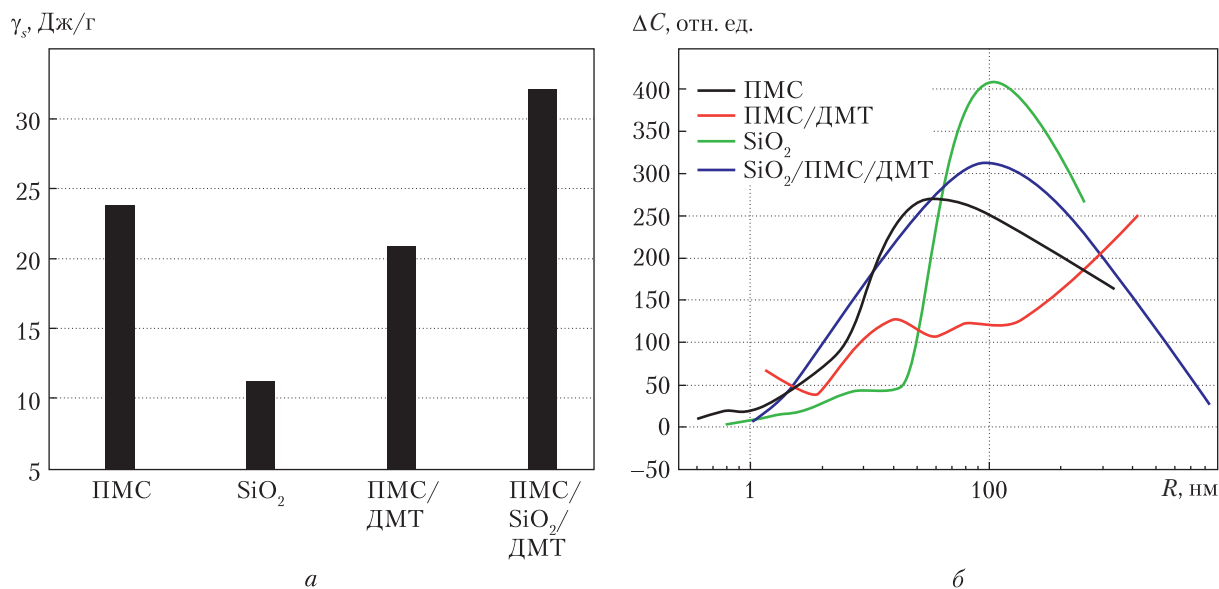


**Рис. 1.** Снятые при разных температурах спектры  $^1\text{H}$  ЯМР воды в гидратированных порошках ПМС (а), кремнезема  $\text{SiO}_2$  (б) и композитных системах на их основе (в, з) в воздушной среде

где  $T_m(R)$  – температура плавления льда, локализованного в порах радиуса  $R$ ;  $T_{m,\infty}$  – температура плавления объемного льда;  $\rho$  – плотность твердой фазы;  $\sigma_{sl}$  – энергия взаимодействия твердого тела с жидкостью;  $\Delta H_f$  – объемная энтальпия плавления. В случае, когда вода заполняет все межчастичное пространство, формула (3) позволяет определять распределение по радиусам межчастичных зазоров.

На рис. 2 приведена диаграмма изменения межфазной энергии воды в зависимости от варьирования состава композитной системы (а) и распределения по радиусам кластеров воды, локализованной в межчастичных зазорах (б).

В соответствии с приведенными данными, суммарная энергия связывания воды в гидратированном порошке гидрофобного ПМС более чем вдвое превосходит энергию связывания воды в гидрофильном кремнеземе (см. рис. 2, а). Поскольку удельная поверхность ПМС может достигать  $500 \text{ м}^2/\text{г}$ , можно сделать вывод, что связывание воды определяется в первую очередь



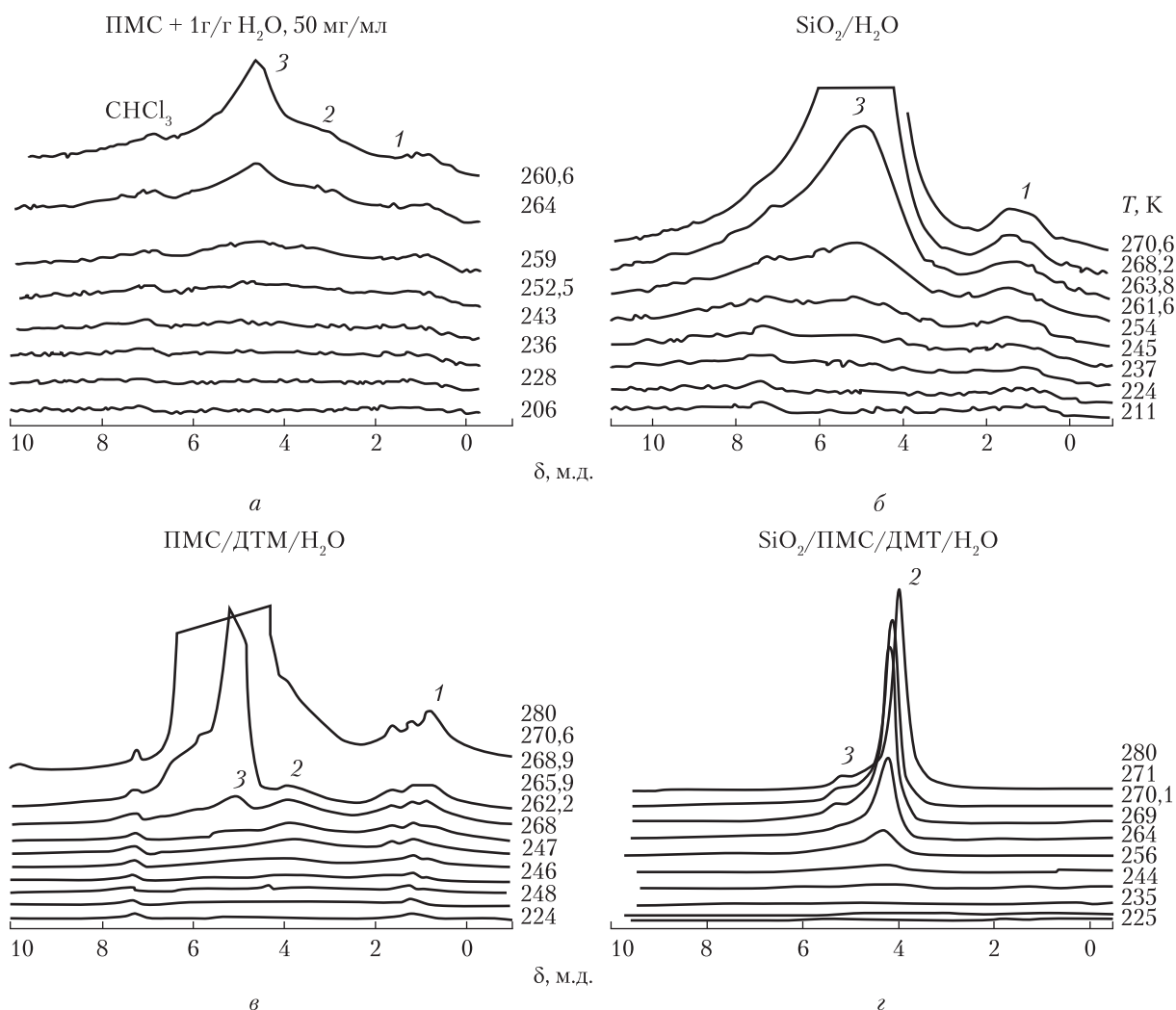
**Рис. 2.** Диаграмма изменения межфазной энергии воды в зависимости от состава композитной системы (а) и распределения по радиусам кластеров адсорбированной воды (б) в воздушной среде

не гидрофобными свойствами поверхности, а морфологией внутреннего межчастичного пространства (см. рис. 2, б). Максимум на кривой распределения по радиусам заполненных водой пор (межчастичных зазоров) в ПМС составляет  $R = 4$  нм (см. рис. 2, б), что значительно меньше, чем в кремнеземе ( $R = 10$  нм), а это приводит к большим значениям межфазной энергии.

Добавление к ПМС небольшого количества (2 % (мас.)) поверхностно активного вещества (ДМТ) приводит к существенному изменению морфологии межчастичного пространства. На кривой распределения  $\Delta C(R)$  появляется несколько максимумов, как в области малых, так и больших значений  $R$ . Вероятно, в присутствии поверхностно активных веществ под влиянием механической нагрузки происходит укрупнение агрегатов частиц ПМС и формирование полостей, радиус которых превышает 12 нм (см. рис. 2, б). Этот процесс сопровождается некоторым снижением межфазной энергии воды (см. рис. 2, а).

В композитной системе ПМС/SiO<sub>2</sub>/ДМТ наблюдается значительный рост величины межфазной энергии, которая становится существенно большей, чем для гидрофильной и гидрофобной компонент (см. рис. 2, а). Это может быть связано с формированием под влиянием механической нагрузки гетерогенной системы, в которой гидрофобная и гидрофильная компоненты присутствуют в виде компактных агрегатов, в межчастичном пространстве которых находится значительное количество сильносвязанной воды. Остальная часть воды заполняет промежутки между гидрофобными и гидрофильными агрегатами, при этом распределение по радиусам заполненных водой полостей имеет один широкий максимум при  $R = 10$  нм (см. рис. 2, б).

Несмотря на высокую гидратированность изученных систем, жидкая гидрофобная среда хлороформа оказывает значительное влияние на строение кластеров межфазной воды (рис. 3). В спектрах появляются несколько сигналов незамерзающей воды, различающихся по значению химического сдвига ( $\delta_H$ ). Сигнал 1 ( $\delta_H = 1$  м.д.) может быть отнесен к класте-

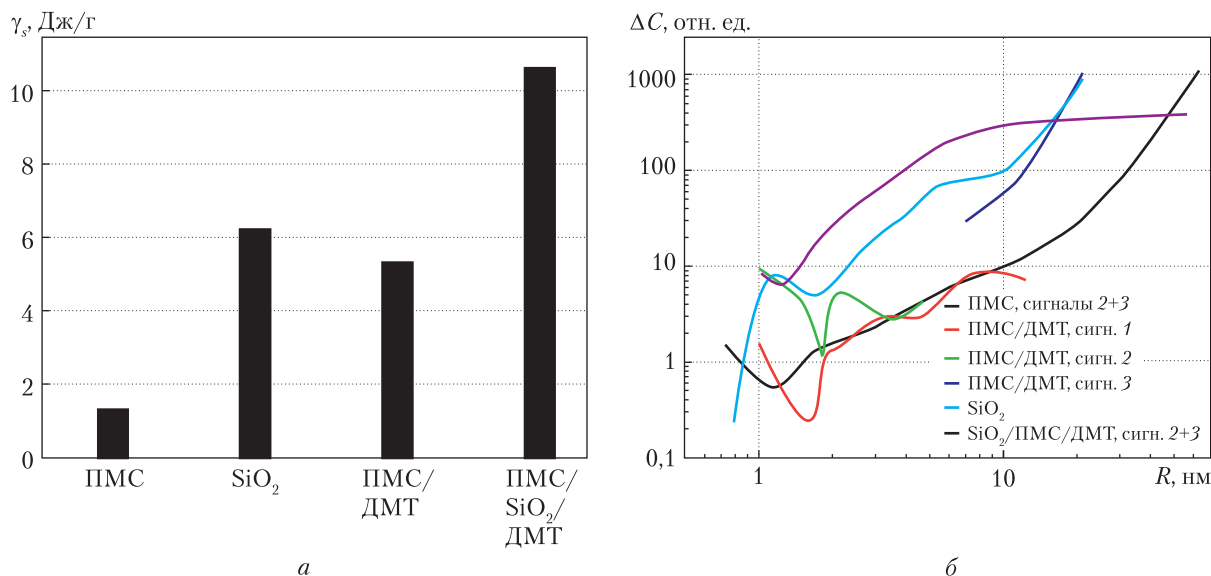


**Рис. 3.** Снятые при разных температурах спектры  $^1\text{H}$  ЯМР воды в гидратированных порошках ПМС, кремнезема и композитных системах на их основе в среде  $\text{CDCl}_3$

рам воды, не принимающих участия в формировании водородных связей [11, 12] (слабоассоциированная вода), сигнал 2 ( $\delta_{\text{H}} = 3,5\text{--}4$  м.д.) – к кластерам воды с частично разрушенной сеткой водородных связей, а сигнал 3 ( $\delta_{\text{H}} = 5$  м.д.) – к кластерам сильноассоциированной воды, близкой по структуре к жидкой воде.

По сравнению с образцами в воздушной среде (см. рис. 1) область сильных изменений интенсивности сигналов сдвинута в сторону высоких температур (вблизи  $T = 273$  K). Следовательно, под влиянием хлороформа происходит частичное вытеснение воды из межчастичного пространства. Наиболее наглядно этот эффект виден из сопоставления величин межфазной энергии в воздушной и органической средах (ср. рис. 2, а и рис. 4, а). Максимальный эффект наблюдается для гидратированного ПМС – величина межфазной энергии уменьшается от 23 до 1,3 Дж/г. Для остальных систем, в том числе и гидрофильного кремнезема, в среде  $\text{CDCl}_3$  величина межфазной энергии ( $\gamma_s$ ) уменьшается в 2–3 раза.





**Рис. 4.** Диаграмма изменения межфазной энергии воды в зависимости от состава композитной системы (а) и распределения по радиусам кластеров адсорбированной воды (б) в среде  $\text{CDCl}_3$

Уменьшение связывания воды при использовании среды слабополярного органического растворителя проявляется в значительном увеличении среднего размера кластеров незамерзающей воды (см. рис. 4, б). Большая часть воды заполняет межчастичные зазоры, радиус которых  $R > 10$  нм, в то время как более узкие поры заполняются хлороформом.

Показано, что при заполнении межчастичных зазоров ПМС способом гидроуплотнения межфазная энергия воды в межчастичных зазорах гидрофобного ПМС при одинаковой гидратированности вдвое превосходит межфазную энергию воды в гидрофильном кремнеземе. Это связано с меньшими линейными размерами межчастичных зазоров в ПМС по сравнению с  $\text{SiO}_2$ .

В композитной системе, содержащей гидрофобную и гидрофильную компоненты (ПМС и  $\text{SiO}_2$ ) и добавку поверхностно активного вещества – ДМТ, наблюдается неаддитивный рост энергии связывания воды, который, вероятно, обусловлен формированием под влиянием механической нагрузки в присутствии воды микрогетерогенных участков, состоящих преимущественно из гидрофобной и гидрофильной компонент. Таким образом, с помощью механических нагрузок, а также путем добавления поверхностно активного вещества, можно управлять адсорбционными и гидратными свойствами композитных систем.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Turon V.V., Mironyuk I.F. Adsorption layers of water on the surface of hydrophilic, hydrophobic and mixed silicas. *Colloids Surf. A*. 1998. **134**. P. 257–263.
2. Gun'ko V.M., Turon V.V., Pakhlov E.V., Krupskaya T.V., Borysenko M.V., Kartel M.T., Charnas B. Water interaction with hydrophobic versus hydrophilic nanosilica. *Langmuir*. 2018. **34**. P. 12145–12153.
3. Gun'ko V.M., Turon V.V., Pakhlov E.M., Matkovsky A.K., Krupskaya T.V., Kartel M.T., Charnas B. Blends of amorphous/crystalline nanoalumina and hydrophobic amorphous nanosilica. *J. Non-Cryst. Solids*. 2018. **500**. P. 351–356.

4. Gun'ko V.M., Turov V.V., Pakhlov E.M., Krupska T.V., Charmas B. Effect of water content on the characteristics of hydro-compacted nanosilica. *Appl. Surf. Sci.* 2018. **459**. P. 171-178.
5. Turov V.V., Gun'ko V.M., Pakhlov E.M., Krupska T.V., Tsapko M.D., Charmas B., Kartel M.T. Influence of hydrophobic nanosilica and hydrophobic medium on water bound in hydrophilic components of complex systems. *Colloids Surf. A* 2018. **552**. P. 39–47.
6. Слиянова И.Б., Денисова Т.И. Кремнийорганические адсорбенты: получение, свойства, применение. Киев: Наук. думка, 1988. 190 с.
7. Shevchenko Y.N., Dushanin B.M., Yashinina N.I. New silicon compounds – porous organosilicon matrices for technology and medicine. *Silicon for chemistry industry*. Sandefjord, 1996. P. 114–166.
8. Гидрогели метилкремневой кислоты как адсорбенты среднемолекулярных метаболитов и способ их получения: пат. 2111979 РФ. МПК С 08 G 77/02; заявл. 11.03.1994. Опубл. 27.05.1998.
9. Клиническое применение препарата Энтеросгель у больных с патологией органов пищеварения. Новые подходы к терапии: Маев И.А., Шевченко Ю.Н., Петухов А.Б. (ред.). Москва, 2000. 90 с.
10. Волохонский И.А., Покрасен Н.М., Туров В.В. Селективная адсорбция белков плазмы крови кремнийорганическими адсорбентами. *Укр. хим. журн.* 1992. **58**, № 8. С. 640–644.
11. Туров В.В., Гулько В.М. Кластеризованная вода и пути ее использования. Киев: Наук. думка, 2011. 316 с.
12. Gun'ko V.M., Turov V.V. Nuclear magnetic resonance studies of interfacial phenomena. New York: Taylor & Francis, 2013. 1076 с.
13. Термодинамические свойства индивидуальных веществ: Глушко В.П. (ред.). Москва: Наука, 1978. 495 с.
14. Aksnes D.W., Førland K., Kimtys L. Pore size distribution in mesoporous materials as studied by  $^1\text{H}$  NMR. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2001. **3**. P. 3203–3207.
15. Petrov O.V., Furó I. NMR cryoporometry: Principles, applications and potential. *Prog. Nucl. Magn. Reson. Spectrosc.* 2009. **54**. P. 97–122.

Поступило в редакцию 26.02.2019

## REFERENCES

1. Turov, V. V. & Mironyuk, I. F. (1998). Adsorption layers of water on the surface of hydrophilic, hydrophobic and mixed silicas. *Colloids Surf. A.*, 134, pp. 257-263.
2. Gun'ko, V. M., Turov, V. V., Pakhlov, E. V., Krupska, T. V., Borysenko, M. V., Kartel, M. T. & Charmas, B. (2018). Water interaction with hydrophobic versus hydrophilic nanosilica. *Langmuir*, 34, pp. 12145-12153.
3. Gun'ko, V. M., Turov, V. V., Pakhlov, E. M., Matkovsky, A. K., Krupska, T. V., Kartel, M. T. & Charmas, B. (2018). Blends of amorphous/crystalline nanoalumina and hydrophobic amorphous nanosilica. *J. Non-Cryst. Solids*, 500, pp. 351-356.
4. Gun'ko, V. M., Turov, V. V., Pakhlov, E. M., Krupska, T. V. & Charmas, B. (2018). Effect of water content on the characteristics of hydro-compacted nanosilica. *Appl. Surf. Sci.*, 459, pp. 171-178.
5. Turov, V. V., Gun'ko, V. M., Pakhlov, E. M., Krupska, T. V., Tsapko, M. D., Charmas, B. & Kartel, M. T. (2018). Influence of hydrophobic nanosilica and hydrophobic medium on water bound in hydrophilic components of complex systems. *Colloids Surf. A*, 552, pp. 39-47.
6. Slyniakova, I. B. & Denisova, T. I. (1988). Organosilicon adsorbents: preparation, properties, application. Kiev: Naukova dumka (in Russian).
7. Shevchenko, Y. N., Dushanin, B. M. & Yashinina, N. I. (1996). New silicon compounds – porous organosilicon matrices for technology and medicine. In *Silicon for chemistry industry* (pp. 114-166). Norway: Sandefjord.
8. Pat. 2111979 RU. IPC C 08 G 77/02, Methylsilicic acid hydrogels as adsorbents of average molecular metabolites and a method of their producing, Shevchenko J.N., Dushanin B.M., Poljanskij A.V., Jashina N.I., Publ. 27.05.1998 (in Russian).
9. Maev, I. A., Shevchenko, Yu. N. & Petuchov, A. B. (Eds.) (2000). The clinical use of Enterogel in patients with pathology of the digestive system. New approaches to therapy. Moscow (in Russian).
10. Volochonskiy, I. A., Pokrasen, N. M. & Turov, V. V. (1992). Selective adsorption of plasma proteins with organosilicon adsorbents. *Ukr. Khim. Zhurn.*, 58, No. 8, pp. 640-644 (in Russian).
11. Turov, V. V. & Gun'ko, V. M. (2011). Clustered water and ways to use it. Kiev: Naukova dumka (in Russian).



12. Gun'ko, V. M. & Turov, V. V. (2013). Nuclear magnetic resonance studies of interfacial phenomena. New York: Taylor & Francis.
13. Glushkov, V. P. (Ed.). (1978). Thermodynamic properties of individual substances. Moscow: Nauka (in Russian).
14. Aksnes, D. W., Førland, K. & Kimtys, L. (2001). Pore size distribution in mesoporous materials as studied by  $^1\text{H}$  NMR. Phys. Chem. Chem. Phys., 3, pp. 3203-3207.
15. Petrov, O. V., Furó, I. (2009). NMR cryoporometry: Principles, applications and potential. Prog. Nucl. Magn. Reson. Spectrosc., 54, pp. 97-122.

Received 26.02.2019

*В.В. Туров, І.І. Геращенко, Т.В. Крупська, К.О. Степанюк*

Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України, Київ

E-mail: krupska@ukr.net

#### ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ КОМПОЗИТНОЇ СИСТЕМИ ПОЛІМЕТИЛСИЛОКСАН/КРЕМНЕЗЕМ/ВОДА В ПРИСУТНОСТІ ПОВЕРХНЕВО АКТИВНОЇ РЕЧОВИНИ—ДЕКАМЕТОКСИНУ

Методом низькотемпературної  $^1\text{H}$  ЯМР спектроскопії вивчено зв'язування води в гідратованих порошках поліметилсилоксану (ПМС), кремнезему та композитній системі ПМС/ $\text{SiO}_2$ /декаметоксин/ $\text{H}_2\text{O}$ . Показано, що при заповненні міжчастинкових зазорів ПМС способом гідроущільнення міжфазна енергія води в міжчастинкових зазорах гідрофобного ПМС при однаковій гідратованості вдвічі перевищує міжфазну енергію води в гідрофільному кремнеземі. У композитній системі ПМС/ $\text{SiO}_2$ /декаметоксин/ $\text{H}_2\text{O}$  відбувається неаддитивне зростання енергії зв'язування води, яке, ймовірно, обумовлене формуванням під впливом механічного навантаження в присутності води мікрогетерогенних ділянок, що складаються переважно з гідрофобної та гідрофільної компонент. Таким чином, за допомогою механічних навантажень, а також шляхом додавання поверхнево активної речовини, можна керувати адсорбційними та гідратними властивостями композитних систем.

**Ключові слова:** поліметилсилоксан, гідрофільний діоксид кремнію, метилкремнезем, декаметоксин.

*V.V. Turov, I.I. Gerashchenko, T.V. Krupska, K.O. Stepanuk*

Chuiko Institute of Surface Chemistry of the NAS of Ukraine, Kiev

E-mail: krupska@ukr.net

#### FEATURES OF THE FORMATION OF THE COMPOSITE SYSTEM POLYMETHYLSILOXANE/SILICA/WATER IN THE PRESENCE OF A SURFACTANT—DECAMETHOXINE

The method of low-temperature  $^1\text{H}$  NMR spectroscopy is used to study the binding of water in hydrated powders of polymethylsiloxane and silica and in the composite system PMS/ $\text{SiO}_2$ /decamethoxine/ $\text{H}_2\text{O}$ . It is shown that, when filling interparticle gaps in the PMP by the method of hydro-seaming, the interphase energy of water in the interparticle gaps of a hydrophobic PMS with the same hydration is twice the interphase energy of water in hydrophilic silica. In the composite system PMS/ $\text{SiO}_2$ /decamethoxine/ $\text{H}_2\text{O}$ , there is a nonadditive increase in the energy of water binding, which is probably due to the formation of the effect of mechanical loading in the presence of water microheterogeneous areas consisting predominantly of hydrophobic and hydrophilic components. Thus, by means of mechanical loads, as well as by adding a surfactant, it is possible to control the adsorption and hydration properties of composite systems.

**Keywords:** polymethylsiloxane, hydrophilic silica, methylsilica, decamethoxine.