

УДК 544.7:546.284-31:611.844.7

СОСТОЯНИЕ ВОДЫ НА МЕЖФАЗНОЙ ГРАНИЦЕ КОМПОЗИТА «SiO₂ / СТЕКЛОВИДНОЕ ТЕЛО»

В.В. Туров, И.И. Геращенко*, А.И. Маркина

*Институт химии поверхности им. А.А.Чуйко Национальной академии наук Украины
ул. Генерала Наумова, 17, Киев, 03164, Украина*

На межфазной границе нанокремнезема А-300, адсорбционно модифицированного компонентами стекловидного тела, в органических средах разной полярности формируются кластеры сильно- и слабоассоциированной воды. В смешанных растворителях количество слабоассоциированной воды зависит от типа гидрофобной компоненты и концентрации полярной составляющей и максимально для смеси дейтерохлороформа с ацетонитрилом. Варьирование состава органической среды позволяет моделировать состояние воды при контакте SiO₂ с наноразмерными участками слизистой кишечника, обладающими различными гидрофобно-гидрофильными свойствами.

ВВЕДЕНИЕ

Непористые аморфные нанокремнеземы, синтезируемые путем гидролиза хлоридов кремния в пламени водородной горелки, широко используются в фармации и медицине в качестве компонентов лекарственных форм и энтеросорбентов [1–4]. Кроме того, существуют экспериментальные подтверждения их высокой биологической активности. Так, в частности, они способствуют процессам жизнедеятельности некоторых микроорганизмов [5, 6] и могут повышать биодоступность лекарственных препаратов [1]. Механизм последнего эффекта пока не выяснен. Есть основания полагать, что он реализуется за счет формирования в зазорах между частицами нанокремнезема и границами биологических объектов прослоек или кластеров воды со свойствами, отличными от объемных.

В работах [7–9] было показано, что при невысокой гидратированности кремнезема и некоторых биологических объектов межфазная вода склонна переходить в кластерное состояние, в котором свойства воды сильно зависят от ее ассоциированности. Вблизи гидрофильных участков поверхности формируются кластеры сильноассоциированной воды (SAW) с радиусом 1–20 нм, молекулы которой участвуют в образовании более одной водородной связи со своими соседями. Эти кластеры ведут себя как обособленные

частицы, для которых растворяющая способность по отношению к гидрофобным и гидрофильным веществам существенно отличается от объемной. В липофильной среде на межфазных границах стабилизируются кластеры слабоассоциированной воды (WAW), молекулы которой участвуют в образовании в среднем менее одной водородной связи на один протон со своими соседями. Значительные количества WAW наблюдаются только в слабо гидратированных средах, что дает основание предполагать участие в ее формировании молекул не только воды, но и растворителя. Благодаря большой разнице в величинах ¹H ЯМР химических сдвигов (1–2 м.д. для WAW и 4–6 м.д. для SAW [7–9]), сильно- и слабоассоциированные формы воды можно легко идентифицировать по спектрам ЯМР.

Попадая в организм пероральным путем, частицы нанокремнезема прежде всего контактируют с муциновым слоем слизистой оболочки желудка и кишечника, а затем с поверхностью эпителиоцитов, обеспечивающей всасывание питательных веществ и лекарственных препаратов. На наноуровне слизистая оболочка может рассматриваться как система участков с различными гидрофобно-гидрофильными свойствами – от неполярных, сформированных преимущественно алкильными группами, до полярных, способных образовывать с водой

* контактный автор igorgera@mail.ru

прочные водородосвязанные комплексы. Вследствие высокого сродства кремнезема к белкам и гликопротеинам муцинового слоя, при их контакте из гидратных оболочек частиц SiO₂ и биополимерных молекул вытесняется большая часть связанной воды, а оставшаяся может существовать в виде кластеров, структура которых зависит от локального окружения, создаваемого фрагментами биополимеров.

В качестве хорошей модели для изучения специфики взаимодействия кремнезема с наноразмерными участками слизистой оболочки и более плотной подслизистой ткани кишечника можно рассматривать нанокремнезем с иммобилизованными на его поверхности компонентами слизи, помещенный в среду органических веществ разной полярности. Биополимерным компонентом может служить стекловидное тело–гелеобразная биологическая жидкость, основой которого является гиалуроновая кислота [10]. Варьирование локальной среды для кластеров воды в таком композите осуществляется путем использования органических сред с различными гидрофобно-гидрофильными свойствами. Поскольку основным методом исследования межфазной воды служит низкотемпературная ¹H ЯМР-спектроскопия [7–9], в качестве таких сред использовали дейтерированные либо аprotонные растворители.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Материалы. В качестве объекта исследования использовали стекловидное тело крупного рогатого скота (ОАО «Березовский мясоконсервный комбинат», Беларусь). Свежевыделенный биоматериал хранили в холодильнике при –20 °С. Для его иммобилизации на поверхности нанокремнезема (А-300 Калушского опытно-экспериментального завода Института химии поверхности им. А.А. Чуйко НАН Украины) навески кремнезема и стекловидного тела тщательно перемешивали до получения однородного геля, который высушивали при 20 °С в течение 10 суток. Образовавшийся продукт измельчали в агатовой ступке до получения частиц микронного размера. Использовали химически чистые органические растворители CCl₄, C₆D₆ и CD₃CN. Содержание дейтерия в них составляло 99.5–99.9 %.

Методы исследования. Термогравиметрические исследования выполняли с помощью дериватографа Q-1500D (MOM, Венгрия) при скорости нагрева 10 град/мин.

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 термоприставкой Bruker VT-1000 с точностью ±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 хуже ±5 %, а для перекрывающихся сигналов – ±10 %. Для предотвращения переохлаждения воды в исследуемых объектах измерения концентрации незамерзающей воды проводили при нагревании образцов, предварительно охлажденных до температуры 210 К. Методика ЯМР-измерений, определения термодинамических характеристик и расчета радиуса кластеров межфазной воды подробно описана в работах [7–9].

При анализе межфазных явлений для изучения процессов, проходящих на границе раздела фаз твердое тело–жидкость–пар, используют два основных подхода – методы избыточных величин Гиббса и слоя конечной толщины [11]. В соответствии с первым из этих подходов предполагают, что весь избыток энергии, обусловленный формированием границ раздела фаз, сосредоточен в бесконечно тонком поверхностном слое, в то время как термодинамические параметры всей остальной жидкости не отличаются от объемных. При этом для определения геометрических размеров ограниченных твердой поверхностью наноразмерных агрегатов жидкости может быть использовано уравнение Гиббса–Томсона, связывающее радиус сферических или цилиндрических пор (R) с величиной депрессии температуры замерзания:

$$\Delta T_m = T_m(R) - T_{m,\infty} = \frac{2\sigma_{sl}T_{m,\infty}}{\Delta H_f \rho R}, \quad (1)$$

где $T_m(R)$ – температура плавления льда, локализованного в порах радиуса R, $T_{m,\infty}$ –

температура плавления объемного льда, ρ – плотность твердой фазы, σ_{sl} – энергия взаимодействия твердого тела с жидкостью и ΔH_f – объемная энтальпия плавления. Это уравнение может быть использовано для вычисления распределения пор по размерам из температурной зависимости величины C_{uw} концентрации незамерзающей воды, полученной на основе метода ^1H ЯМР спектроскопии с послойным вымораживанием воды, для водных суспензий твердых тел или гидратированных биологических объектов, когда применение других методов анализа пористой структуры затруднительно [7]. Для практического использования уравнение (1) можно применять в виде $\Delta T_m = (k/R)$, в котором константа k для многих гетерогенных систем, содержащих воду, близка к 50 [7, 12].

В методе слоя конечной толщины [11] предполагают, что влияние поверхности границы раздела фаз распространяется на несколько молекулярных слоев вглубь жидкой фазы. Тогда процесс заморзания (таяния) межфазной воды, локализованной в твердой пористой матрице, проходит в соответствии с изменением свободной энергии Гиббса, которое тем меньше, чем дальше от поверхности изучаемый слой воды. При $T = 273 \text{ K}$ замораживает вода, свойства которой не отличаются от объемных, а по мере понижения температуры (без учета эффекта переохлаждения) замораживают слои воды, все ближе расположенные к поверхности, причем для межфазной воды справедливо соотношение:

$$\Delta G_{ice} = -0,036(273,15 - T), \quad (2)$$

где численный коэффициент представляет собой параметр, связанный с температурным коэффициентом изменения свободной энергии Гиббса для льда [13]. Определяя по величине интенсивности сигнала величину $C_{uw}(T)$ в соответствии с методикой, подробно описанной в [7–9], могут быть рассчитаны количества сильно- и слабосвязанной воды, а также термодинамические характеристики этих слоев.

Межфазная энергия биополимерной составляющей стекловидного тела определялась как модуль суммарного понижения свободной энергии воды,

обусловленного наличием границы раздела фаз [7–9], по формуле:

$$\gamma_s = -K \int_0^{C_{uw}^{max}} \Delta G(C_{uw}) dC_{uw}, \quad (3)$$

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

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 приведены результаты термогравиметрических исследований композитного материала SiO_2 /стекловидное тело ($\text{SiO}_2/\text{Ст.т.}$).

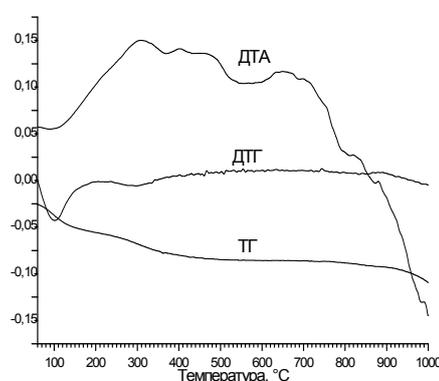


Рис. 1. Данные термогравиметрических исследований стекловидного тела, иммобилизованного на поверхности нанокремнезема А-300

На ТГ и ДТГ кривых могут быть выделены два основных участка, отвечающие термодесорбции воды ($T < 150 \text{ }^\circ\text{C}$) и термодеструкции биополимерных компонентов ($150 \text{ }^\circ\text{C} < T < 450 \text{ }^\circ\text{C}$). Хотя в этом же температурном интервале происходит и ассоциативная десорбция воды, можно считать, что ее концентрация значительно меньше, чем концентрация адсорбированных на поверхности биополимеров. В соответствии с данными рис. 1, в синтезированном композитном образце содержится 2.5 мас. % воды и около 3.5 мас. % твердой составляющей стекловидного тела. Кривая ДТА, определяющая знак теплового эффекта в реакциях термолиза, имеет сложный вид, что характерно для деструкции многих композитных материалов.

Снятые при разной температуре спектры ^1H ЯМР воды, адсорбированной композитом $\text{SiO}_2/\text{Ст.т.}$ на воздухе и в органических

растворителях, приведены на рис. 2 а в их смесях с ацетонитрилом – на рис. 3. В отсутствие органической среды (рис. 2 а) спектр представляет собой одиночный сигнал, максимум которого имеет химический сдвиг 4.5–5 м.д., что близко к химическому сдвигу жидкой воды. При $T < 273$ К интенсивность сигнала уменьшается по причине частичного замерзания межфазной воды. В соответствии с классификацией, приведенной в [7–9], вода, замерзающая при $T < 250$ К, может быть отнесена к сильносвязанной. Следовательно, при контакте гидратированной поверхности композита SiO₂/Ст.т. с воздушной средой большая часть межфазной воды является сильносвязанной.

В среде CCl₄ (рис. 2 б) характер замерзания межфазной воды коренным образом изменяется. Практически вся вода замерзает при $T > 250$ К, то есть избыток неполярного компонента в локальной среде, окружающей кластер адсорбированной воды, превращает большую ее часть из сильносвязанной в слабосвязанную. Этого не происходит в среде другого неполярного растворителя – C₆D₆ (рис. 2 в). В отличие от CCl₄, бензол содержит некоторое количество непродейтерированной составляющей, которая наблюдается в виде сигнала с химическим сдвигом $\delta_H = 7.26$ м.д., исчезающей при замерзании бензола, которое имеет место при $T < 270$ К. Поскольку эта температура существенно ниже температуры замерзания бензола ($T = 280$ К), можно заключить, что бензол хорошо связывается поверхностью композита и его температура замерзания понижена адсорбционными взаимодействиями.

В среде бензола при значениях химического сдвига $\delta_H \approx 1.2$ м.д. в спектрах регистрируется слабоинтенсивный сигнал слабосвязанной воды (WBW).

При использовании в качестве органической среды более полярного органического растворителя – дейтерохлороформа (рис. 2 г) интенсивность сигнала WBW заметно возрастает. В спектрах наблюдаются также сигналы непродейтерированной составляющей хлороформа и тетраметилсилана (ТМС), добавляемого к хлороформу в качестве стандарта химического сдвига.

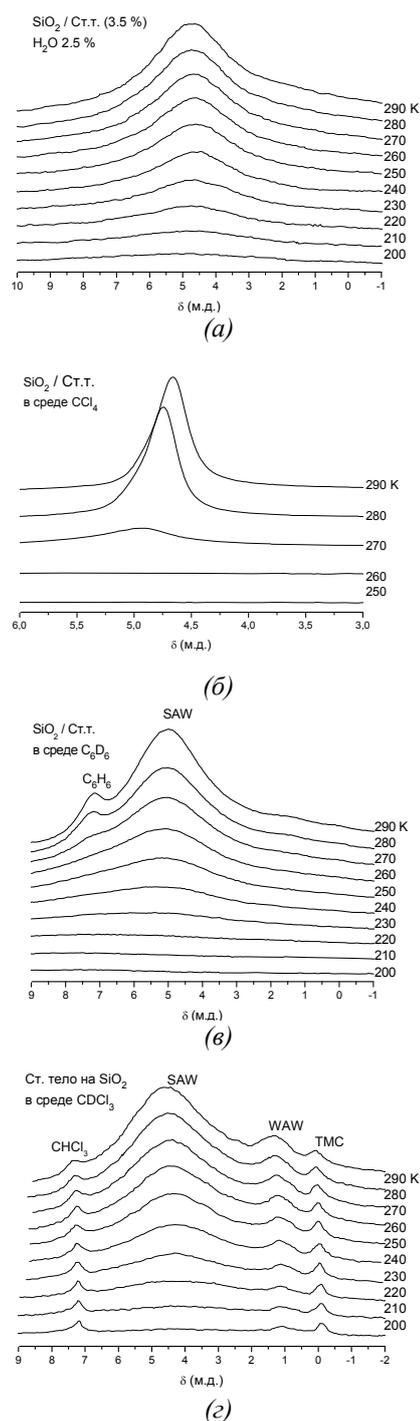


Рис. 2. Снятые при различных температурах спектры ¹H ЯМР воды, адсорбированной композитом SiO₂/Ст.т. на воздухе и в среде органических растворителей (C_{H2O} = 2.5 %)

Добавление к бензолу некоторого количества полярного вещества – ацетонитрила (рис. 3 а) приводит к появлению в спектрах двух сигналов слабоассоциированной воды WAW1 и WAW2 с химическими сдвигами соответственно

1.3 и 1.8 м.д. (при 290 К). С ростом концентрации CD_3CN (рис. 3 б) интенсивность обоих сигналов WAW возрастает. Сопоставляя изменение интенсивности и ширины сигналов WAW1 и бензола с температурой, можно заключить, что они ведут себя сходным образом. Этот тип WAW перестает регистрироваться в спектрах при замерзании бензола. В то же время сигнал WAW2 наблюдается в спектрах и при более низкой температуре. Тогда можно предположить, что WAW1 обусловлена формированием кластеров, в состав которых входит межфазная вода, ацетонитрил и слабосвязанный бензол, а WAW2 – межфазная вода, ацетонитрил и сильносвязанный бензол. Поскольку интенсивность адсорбционных взаимодействий в значительной степени определяется размером пор, в которых находится адсорбированное вещество, следует заключить, что сигналы WAW1 и WAW2 относятся к веществу, адсорбированному в порах разного размера. Для обоих сигналов WAW с понижением температуры наблюдается их смещение в область слабых магнитных полей. Это дает основание полагать, что в условиях проведения экспериментов остаточные метильные группы непродейтерированной составляющей CD_3CN не проявляются в спектрах 1H ЯМР.

Замена бензола на более полярный органический растворитель – $CDCl_3$ (рис. 3 в) приводит к дополнительной стабилизации слабоассоциированных форм воды. В спектрах наблюдаются три сигнала слабоассоциированной воды – WAW1–3, наиболее интенсивный из которых имеет химический сдвиг ~ 2 м.д., совпадающий с химическим сдвигом метильных групп CH_3CN .

На рис. 4 приведены температурные зависимости концентрации сильноассоциированной воды (а), изменения межфазной энергии Гиббса от концентрации незамерзающей воды (б) и распределения по радиусам кластеров незамерзающей воды (в) для композита $SiO_2/Ст.т.$, содержащего 2.5 мас. % адсорбированной воды, а в таблице – характеристики слоев сильносвязанной воды, рассчитанные по графикам зависимости $\Delta G(C_{uw})$ в соответствии с методикой, описанной в [4, 5].

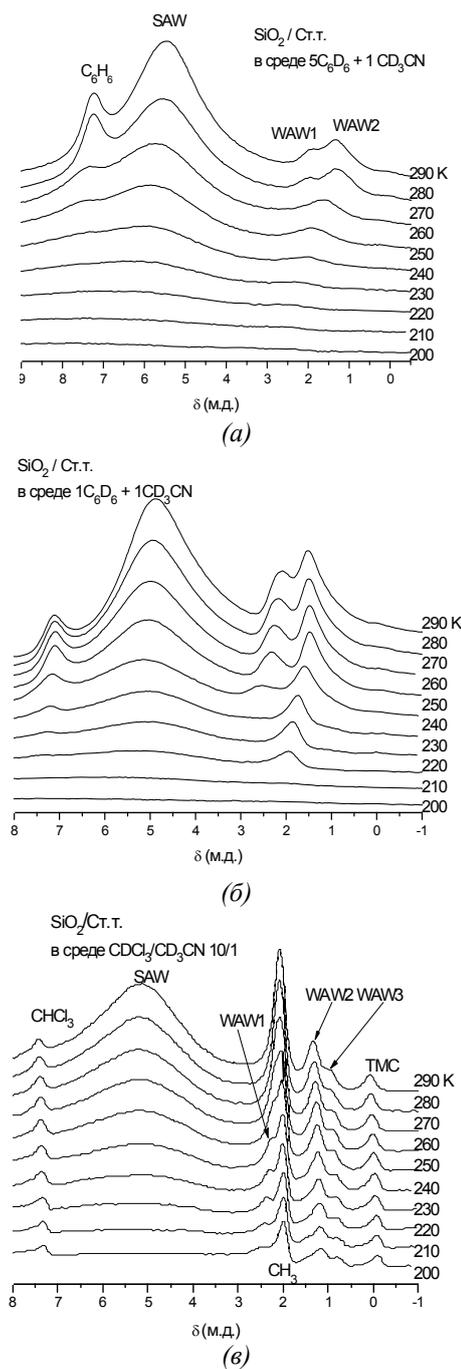


Рис. 3. Снятые при различных температурах спектры 1H ЯМР воды, адсорбированной композитом $SiO_2/Ст.т.$ в смесях органических растворителей ($C_{H_2O} = 2.5\%$)

Ввиду малого количества межфазной воды на зависимостях $C_{SAW}(T)$ и $\Delta G(C_{uw})$ участки разного наклона, отвечающие сильно- и слабосвязанной воде, могут быть выделены только для композита $SiO_2/Ст.т.$ в среде CCl_4 . Поэтому для остальных образцов принималось, что к сильносвязанной

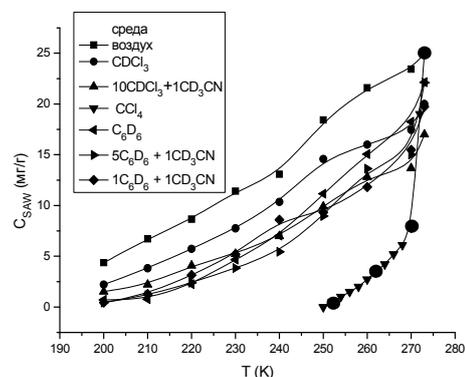
относится вода, замерзающая при температуре $T \leq 250$ К ($\Delta G \leq 0.5$ кДж/моль). Диапазон изменения температуры, в котором для композита SiO₂/Ст.т. в среде CCl₄ регистрируется сигнал незамерзающей воды, ограничен четырьмя точками (обозначенными символами большего размера). Для получения более информативного распределения $R(\Delta C_{SAW})$ на зависимости $C_{SAW}(T)$ с дискретностью 2 градуса были определены виртуальные точки, максимально отвечающие ходу зависимости $C_{SAW}(T)$. Поскольку гидратированность композита SiO₂/Ст.т. была фиксированной и равной 25 мг/г, отличие суммарного количества сильно- и слабосвязанной воды ($C_{uw}^S + C_{uw}^W$) от этого значения в таблице определяет количество слабоассоциированной воды.

Как видно из данных рис. 4 а, при $T < 273$ К и фиксированных значениях температуры максимальные значения C_{SAW} наблюдаются в воздушной среде, несколько меньшие – в среде CDCl₃, еще меньшие, но близкие по величине – в среде бензола и смешанных растворителях, и минимальные – в среде CCl₄. Соответственно располагается и ряд зависимости межфазной энергии, которая представляет собой суммарное изменение свободной энергии воды в адсорбционном слое, рассчитанное по зависимостям $\Delta G(C_{uw})$ (рис. 4 б) в соответствии с уравнением 3 (таблица). Величина γ_S определяется преимущественно количеством сильносвязанной воды.

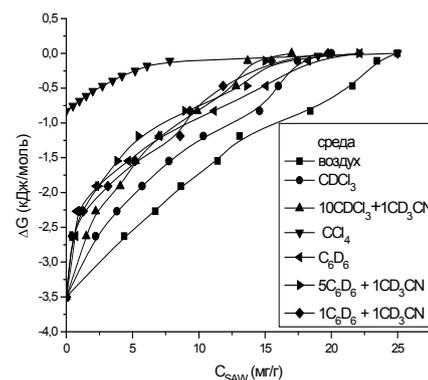
На рис. 4 в для некоторых из изученных систем приведены распределения по размерам кластеров SAW. Остальные распределения имеют вид, аналогичный полученным для композита SiO₂/Ст.т. в среде смеси CDCl₃+CD₃CN. В воздушной среде формируется максимальное количество малых кластеров SAW (≤ 1 нм) и небольшое количество кластеров размером ≥ 10 нм. Количество больших кластеров растет при переходе от воздуха к CDCl₃ и смешанным растворителям и становится максимальным в среде CCl₄.

Если считать, что биополимерная составляющая композита SiO₂/Ст.т. вместе с органической средой служит моделью локальных наноразмерных участков биологических тканей, то полученные экспериментальные результаты можно интерпретировать таким образом: при контакте частиц кремнезема с

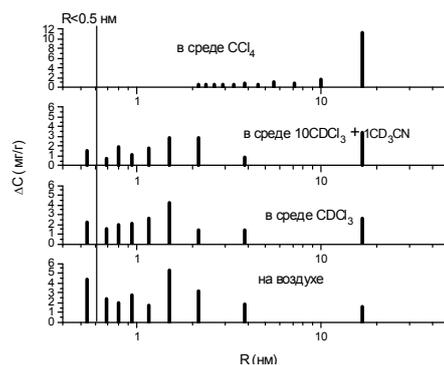
иммобилизованными на его поверхности компонентами слизистой оболочки и неполярных алифатических участков (в присутствии среды CCl₄) на межфазных границах формируются кластеры сильноассоциированной воды, относительно слабо связанные с поверхностью, размер которых может превышать 20 нм.



(а)



(б)



(в)

Рис. 4. Температурные зависимости концентрации сильноассоциированной воды (а), изменения межфазной энергии Гиббса от концентрации незамерзающей воды (б) и распределения по радиусам кластеров незамерзающей воды (в) для композита SiO₂/Ст.т. при C_{H₂O} = 2.5 мас. %

Таблица. Характеристики слоев сильносвязанной воды на межфазной границе композита SiO₂/Ст.т. в разных средах при C_{H2O} = 2.5 мас. %

Среда	воздух	CCl ₄	C ₆ H ₆	CDCl ₃	5C ₆ H ₆ + 1CD ₃ CN	1C ₆ H ₆ + 1CD ₃ CN	10CDCl ₃ + 1CD ₃ CN
C _{ув} ^S мг/г	19	7	15	16	15	12	12
C _{ув} ^W мг/г	6	18	8	4	7	8	6
ΔG ^S кДж/ моль	-3.5	-0.8	-3.5	-3.5	-3.5	-3.5	-3.5
γ _s Дж/г	2.1	0.2	1.2	1.5	1.0	1.1	1.1

Вблизи неполярных ароматических участков, моделируемых присутствием среды бензола, размер кластеров SAW уменьшается и наряду с ними формируется небольшое количество кластеров слабоассоциированной воды, сформированных с участием относительно подвижных ароматических групп поверхности. Около слабополярных алифатических участков (моделируемых присутствием среды CDCl₃) количество WAW возрастает, а размер кластеров SAW уменьшается.

Полярные наноразмерные участки поверхности биологических тканей могут моделироваться смесями гидрофобных (C₆D₆, CDCl₃) и гидрофильного (CD₃CN) растворителей. С ростом полярных свойств окружающей среды возрастает вклад от формирующихся вблизи границы раздела фаз кластеров WAW. В зависимости от морфологии межфазных границ ассоциированность воды в этих кластерах может быть разной, что проявляется в спектрах ¹H ЯМР в виде наличия нескольких сигналов WAW. Средний размер кластеров SAW с ростом полярности среды уменьшается.

Воздушная среда моделирует контакт частиц кремнезема только с компонентами

слизистой оболочки вдали от плотных тканей, но при участии газообразных продуктов метаболизма, присутствующих в кишечнике. В этом случае межфазная вода находится в виде кластеров SAW, большая часть которых имеет радиус R < 2 нм.

ВЫВОДЫ

Показано, что на межфазной границе нанокремнезема А-300, адсорбционно модифицированного компонентами стекловидного тела, в органических средах разной полярности формируются кластеры сильно- и слабоассоциированной воды. Количество слабоассоциированной воды зависит от типа гидрофобной компоненты и концентрации полярной составляющей в смешанных растворителях. Оно максимально для смеси дейтерохлороформа с ацетонитрилом. Варьирование состава органической среды позволяет моделировать состояние воды при контакте SiO₂ с наноразмерными участками слизистой кишечника, обладающими различными гидрофобно-гидрофильными свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Медицинская химия и клиническое применение диоксида кремния / Под ред. А.А. Чуйко. – Киев: Наукова думка, 2003. – 416 с.
2. Энтеросорбция в комплексном лечении острых хирургических заболеваний органов брюшной полости / Под ред. А.А.Вильцанюка, И.И.Герашенко. – Харьков, 2009. – 128 с.
3. Гунько В. М. Влияние природы и состояния поверхности высокодисперсных оксидов на их сорбционные свойства // Теорет. эксперим. химия – 2000. – Т. 36, № 6. – С. 349–353.
4. Гунько В.М., Зарко В.И., Туров В.В. и др. Закономерности поведения наноматериалов в разных средах, обусловленные строением поверхности и морфологией частиц // Физико-химия наноматериалов и супрамолекулярных структур / под редакцией А.П. Шпака и П.П. Горбика, Т. 1, Киев: Наукова думка, 2007. – С. 157–226.
5. Крупская Т.В., Турова А.А., Гунько В.М., Туров В.В. Влияние высокодисперсных материалов на физиологическую активность дрожжевых клеток // Биополимеры и клетка. – 2009. – Т. 25, № 4. – С. 290–297.
6. Курдиш И.К., Чуйко А.А. Особенности взаимодействия микроорганизмов с высокодисперсным кремнеземом // Медицинская химия и клиническое применение диоксида

- кремния. – Киев: Наукова думка – 2003. – С. 153–167.
7. Туров В.В., Гунько В.М. Кластеризованная вода и пути ее использования. – Киев: Наукова думка. – 2011. – 313 с.
 8. Gun'ko V.M., Turov V.V., Bogatyrev et. al. Unusual properties of water at hydrophilic/hydrophobic interfaces // Adv. Colloid. Interf. Sci. – 2005 – V. 118, N 1–3. – P. 125–172.
 9. Гунько В.М., Туров В.В., Горбик П.П. Вода на межфазной границе. – Киев: Наукова думка – 2009. – 694 с.
 10. Holmes M. W. A., Bayliss M. T., Muir H. Hyaluronic acid in human articular cartilage. Age-related changes in content and size // Biochem. J. – 1988. – V. 250. – P. 435–441.
 11. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. – Москва: Химия, 1982. – 400 с.
 12. Petrov O.V., Furo I. NMR cryoporometry: Principles, application and potential // Progr. in NMR. – 2009. – V. 54. – P. 97–122.
 13. Термодинамические свойства индивидуальных веществ / Под ред. В.П. Глушкова. – Москва: Наука. – 1978. – 495 с.

Поступила 07.11.2011, принята 18.01.2012

Стан води на меж фаз композиту «SiO₂/скловидне тіло»

В.В. Туров, І.І. Геращенко, А.І. Маркіна

*Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка Національної академії наук України
вул. Генерала Наумова, 17, Київ, 03164, Україна, igorgera@mail.ru*

На межі фаз нанокремнезему А-300, адсорбційно модифікованого компонентами скловидного тіла, в органічному середовищі різної полярності формуються кластери сильно- і слабкоасоційованої води. У сумішах розчинників кількість слабкоасоційованої води залежить від типу гідрофобної компоненти та концентрації полярної складової і є максимальною для суміші дейтерохлороформу з ацетонітрилом. Варіювання складу органічного середовища дозволяє моделювати стан води при контакті SiO₂ з нанорозмірними ділянками слизової кишкової тканини, що мають різні гідрофобно-гідрофільні властивості.

State of water at the interface of «SiO₂/vitreous body» composite

V.V. Turov, I.I. Gerashchenko, A.I. Markina

*Chuiko Institute of Surface Chemistry of National Academy of Sciences of Ukraine
17 General Naumov Str., Kyiv, 03164, Ukraine, igorgera@mail.ru*

It has been shown that clusters of strongly associated and weakly associated water are formed at the interface of nanosilica A-300 modified with components of the vitreous body in organic media of various polarity. The amount of weakly associated water in mixed solvents depends on both the type of hydrophobic component and the concentration of polar component and it has maximum value in the CDCl₃/CD₃CN mixture. Changes in contents of the organic media allow us to model the state of water at the contact of SiO₂ with nano-sites of intestinal mucosa with different hydrophobic and hydrophilic properties.