

УДК 544.7+577.1

## ВПЛИВ КОНТАКТУ З НАНОКРЕМНЕЗЕМОМ А-300 НА ГІДРАТАЦІЮ СУБКЛІТИННОГО МАТЕРІАЛУ ТОНКОЇ КИШКИ ЩУРА

В.В. Туров<sup>1\*</sup>, Л.П. Морозова<sup>1,2</sup>, О.І. Штатсько<sup>2</sup>, М.Б. Луцюк<sup>2</sup>, А.А. Турова<sup>1</sup>, І.В. Таран<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка Національної академії наук України  
вул. Генерала Наумова, 17, Київ, 03164, Україна

<sup>2</sup> Вінницький Національний медичний університет ім. М.І. Пирогова  
вул. Пирогова, 56, Вінниця, 21018, Україна

*Методом <sup>1</sup>H ЯМР спектроскопії, ЯМР-кріопорометрії та скануючої електронної спектроскопії вивчено стан води в тканині кишечника і вплив на нього контакту кремнезему А-300. Встановлено, що адсорбована вода в тканині кишечника знаходиться в кластеризованому стані і завдяки контакту з Силіксом збільшується кількість слабо асоційованої води. Показано, що соляна кислота погано розчиняється як в сильно-, так і в слабоасоційованій воді.*

Лікарські препарати, створені на основі високодисперсного кремнезему (ВДК) широко застосовуються як медичні адсорбенти, завдяки великій питомій поверхні (200–400 м<sup>2</sup>/г). Вони не лише мають високу адсорбційну здатність щодо води, білків та зв'язаних з ними екзо- та ендотоксинів, але й здатні підвищувати біологічну активність деяких лікарських препаратів, а в клітинних суспензіях мікроорганізмів стимулювати процеси їх життєдіяльності [1, 2]. В даний час доступними для використання в медичній практиці є кілька препаратів, діючою компонентою яких є нанокремнезем А-300. Це «Силікс», «Полісорб», «Атоксил», «Біле вугілля» та деякі інші. Проте механізм їх дії досконально не вивчений. В [3] зроблено припущення, що за біоактивність Силіксу відповідає його здатність індукувати перехід міжфазної води в особливий слабоасоційований стан, в якому вона може змішуватись з слабополярними речовинами і погано розчинятися полярні речовини. Це може впливати на перебіг багатьох біохімічних перетворень, які відбуваються у тонкій кишці при її контакті з частинками ВДК.

При парентеральному використанні частинки ВДК досить довгий час контактують зі слизовими оболонками шлунку та кишечника. Стінка тонкої кишки, як і всіх порожнин органів, складається з чотирьох

оболонки [4]. Внутрішньою є слизова оболонка. Зовні від неї міститься основна стінка тонкої кишки – підслизова оболонка, а за нею м'язова; як зовнішня виступає серозна оболонка. Слизова оболонка разом з підслизовою формують складчасту структуру, причому довжина кожної складки може сягати двох третин радіуса кишки. Слизова оболонка має оксамитову поверхню, сформовану кишковими ворсинками, довжина яких може складати від 0.2 до 1.2 мм. Наявність складок та ворсинок забезпечує високу питому поверхню, необхідну для всмоктування поживних речовин. Тому при контакті тканин кишечника з нанодисперсними частинками кремнезему вони, перш за все, контактують з ворсинками та складчастими структурами і саме при цьому можуть здійснювати стимулюючий вплив на всмоктування лікарських речовин. Якщо при контакті кремнезему з тканинами кишечника відбувається зміна структури міжфазної води, це може позначитись на її структурі та термодинамічних характеристиках. Найбільш інформативним методом визначення параметрів зв'язаної води в біологічних тканинах є метод <sup>1</sup>H ЯМР спектроскопії з пошаровим виморожуванням рідкої фази [5–7].

Метою цієї роботи було вивчення стану води в тканині кишечника та впливу на нього контакту з ВДК шляхом використання методу низькотемпературної <sup>1</sup>H ЯМР-спектроскопії,

\* контактний автор v\_turov@ukr.net  
ХФТП 2013. Т. 4. № 1

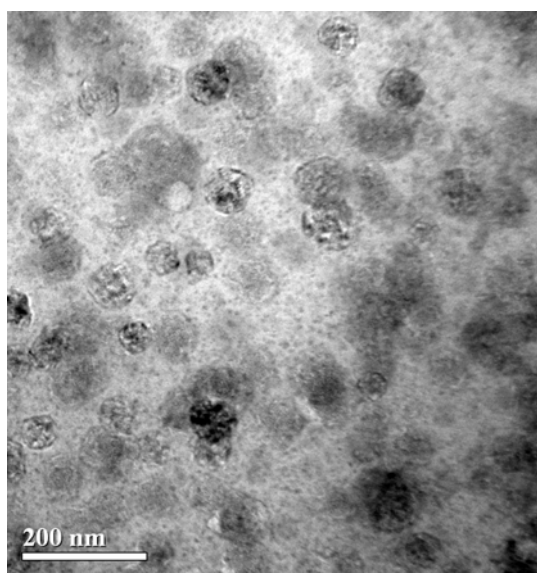
ЯМР-кріометрії та скануючої електронної мікроскопії.

#### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

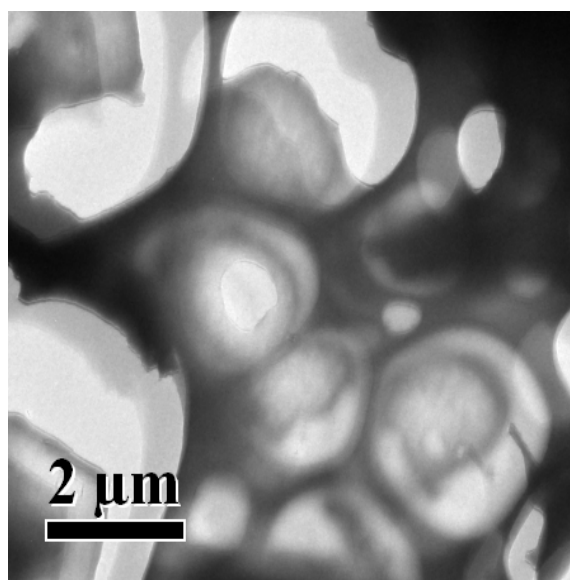
Досліди проводилися на 5 білих нелінійних щурах-самцях з середньою масою 350–380 г. Під час експерименту (5 діб) всі тварини одержували стандартний раціон віварію, з водним режимом *ad libitum* та 12-годинним світловим режимом день/ніч [8]. Тваринам дослідної групи протягом усього часу проведення експерименту щоденно внутрішньошлунково вводили 5 % водну суспензію Силіксу дозою 500 мг/кг – 1 раз на добу. Після розтину черевної стінки виділяли

тонкий кишечник, який ретельно промивали охолодженим 1.15 % розчином КСІ. Матеріалом подальшого дослідження слугували відрізки кишечника, які зважували, вміщували у стерильні контейнери і ліофілізували. Перед ЯМР-вимірюваннями біоматеріал подрібнювали шляхом розтирання в агатовій ступці. При цьому розмір його частинок складав 1–10 мкм.

Візуалізація тканини кишечника здійснювалась методом скануючої електронної мікроскопії, при цьому були зроблені мікрофотографії зразків ліофілізованої тканини тонкої кишки вихідної (Init) та після контакту з Силіксом ( $\text{AfSiO}_2$ ).



а



б

**Рис. 1.** Мікрофотографії ліофілізованої тканини тонкої кишки тварин контрольної групи (а) та тканини після контакту із силіксом (б)

Можна констатувати, що подрібнення ліофілізованої тканини призводить до зникнення особливостей її морфологічної будови. На зображенні, одержаному при максимальному збільшенні, для зразка Init спостерігаються частинки неправильної форми, що можуть належати подрібненим частинам слизової оболонки, наприклад ворсинкам кишечника. При меншому збільшенні (зразок  $\text{AfSiO}_2$ ) частинки тканини мають майже сферичну форму з діаметром 0.5–1 мкм.

Спектри одержували на ЯМР-спектрометрії високої роздільної здатності (Varian “Mercury”) з робочою частотою 400 МГц. Використовували 90° зонduючий імпульс, тривалістю 3 мкс.

Температура в датчику регулювалась за допомогою термоприставки Bruker VT-1000 з точністю  $\pm 1$  град. Інтенсивності сигналів визначались шляхом вимірювання площі піків з використанням процедури розкладання сигналу на його складові у припущенні гауссівської форми сигналу і оптимізації його нульової лінії і фази з точністю, яка для добре розділених сигналів була не гірше 5 %, а для сигналів, що перекриваються –  $\pm 10$  %. Для запобігання переохолодження води в досліджуваних об’єктах вимірювання концентрації незамерзаючої води проводили при нагріванні зразків, попередньо охолоджених до температури 210 К. Методика ЯМР-вимірювань

і визначення термодинамічних характеристик і радіуса кластерів міжфазної води докладно описана в [5–7].

У наближенні нескінченно тонкого адсорбційного шару (коли вважають, що вся поверхнева енергія зосереджена на межі поділу фаз рідина-тверде тіло) для визначення геометричних розмірів кластерів адсорбованої води використовувалося рівняння Гіббса-Томсона, що пов'язує радіус сферичного або циліндричного водного кластера ( $R$ ) з величиною депресії температури замерзання:

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

де  $T_m(R)$  – температура плавлення льоду, локалізованого в порах радіуса  $R$ ,  $T_{m,\infty}$  – температура плавлення об'ємного льоду,  $\rho$  – густина речовини в твердій фазі,  $\sigma_{sl}$  – енергія взаємодії твердого тіла з рідиною і  $\Delta H_f$  – об'ємна ентальпія плавлення. Це рівняння може бути використано для обчислення розподілу пор за розмірами з температурної залежності величини  $S_{ув}$ , отриманої на основі методу  $^1\text{H}$  ЯМР спектроскопії з пошаровим виморожуванням води, для водних суспензій твердих тіл або гідратованих біологічних об'єктів, коли застосування інших методів аналізу пористої структури ускладнено [5–7]. При практичному використанні рівняння (1) може мати вигляд  $\Delta T_m = (k/R)$ , в якому константа  $k$  для багатьох гетерогенних систем, що містять воду, близька до 50 К·нм [7, 8].

У наближенні гіббсівського шару кінцевої товщини вважають, що поверхневі сили від межі поділу фаз поширюються всередину рідини на кілька молекулярних шарів, а зниження температури замерзання в приповерхневому шарі ( $\Delta T = 273 - T$ ) визначається зміною міжфазної енергії Гіббса ( $\Delta G$ ), яка тим більша, чи менша відстань від точки вимірювання до межі поділу фаз. Величини  $\Delta T$  та  $\Delta G$  пов'язані співвідношенням [10]:

$$\Delta G = -0.036(273 - T). \quad (2)$$

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

На рис. 2 наведено результати термогравіметричних досліджень кишкової тканини. 50 мг ліофілізованої тканини

поміщали в кварцовий тигель і піддавали нагріву зі швидкістю 10 град/хв. Досліджувались контрольний зразок та зразок тканини, що контактував з кремнеземом. Проте в рамках термогравіметричних досліджень різниці між зразками не виявлено, тому на рис. 2 наведено лише дані для контрольного зразка.

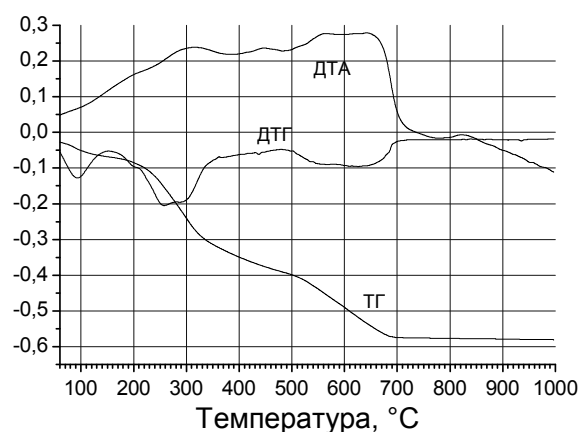


Рис. 2. Криві зменшення маси з температурою (ТГ), швидкості зміни маси з температурою (ДТГ) та диференційного термічного аналізу (ДТА) для наважки контрольного зразка тканини тонкого кишечника

В процесі нагрівання зразка його маса зменшується від 50 мг до 0, тобто в результаті термолізу в ньому не залишається вимірюваної кількості мінеральних компонентів. На кривій температурної залежності зміни маси (ТГ-крива) спостерігається кілька ділянок відносно швидкої зміни маси, що розділені ділянками її повільного зменшення. На диференціальній кривій (ДТГ-крива) їм відповідають піки, мінімальні значення яких знаходяться в точках перегину ділянок швидкої зміни маси. Це свідчить про наявність принаймні трьох стадій термолізу. Можна вважати, що кожній стадії відповідає ділянка температур в межах певного піка на кривій ДТА. Перша ділянка втрати маси ( $T < 160$  °C) може бути віднесена до присутньої в зразку залишкової води, кількість якої не перевищує 100 мг/г. Друга ділянка зменшення маси ( $180 < T < 400$  °C) відповідає розкладу та осмоленню біополімерів, з яких складається кишкова тканина. Останній, широкий пік на кривій ДТГ, що закінчується при 700 °C, відповідає перетворенню частково окиснених карбоніатів у вуглекислий газ та монооксид

вуглецю. Крива ДТА показує, що всі процеси, які мають місце при термолізі кишкової тканини, мають екзотермічний характер (піки ДТА спрямовані догори).

Як видно з рис. 3 а на повітрі спектр представлено одиночним сигналом неправильної гауссівської форми, що свідчить про можливість існування кількох сигналів, які перекриваються і мають різну величину хімічного зсуву. В середовищі дейтерованого хлороформу (рис. 3 б) розділення сигналів в спектрах істотно підвищується. Це може бути пов'язано зі зменшенням неоднорідності зразка та сповільненням молекулярного обміну між водою, що входить до складу різних адсорбційних комплексів.

При  $T = 280$  К величина  $\delta_H$  не перевищує 2 м.ч., отже, відповідно до [5–7], вона може кваліфікуватися як слабкоасоційована (WAW). Якщо температура замерзання води перевищує 255 К, така вода є слабкозв'язаною. Тобто до слабкозв'язаної належить більша частина води, що знаходиться у внутрішніх нанопорожнинах кишкової тканини зразка Init, що контактує з повітряним середовищем ([7], рис. 2, а).

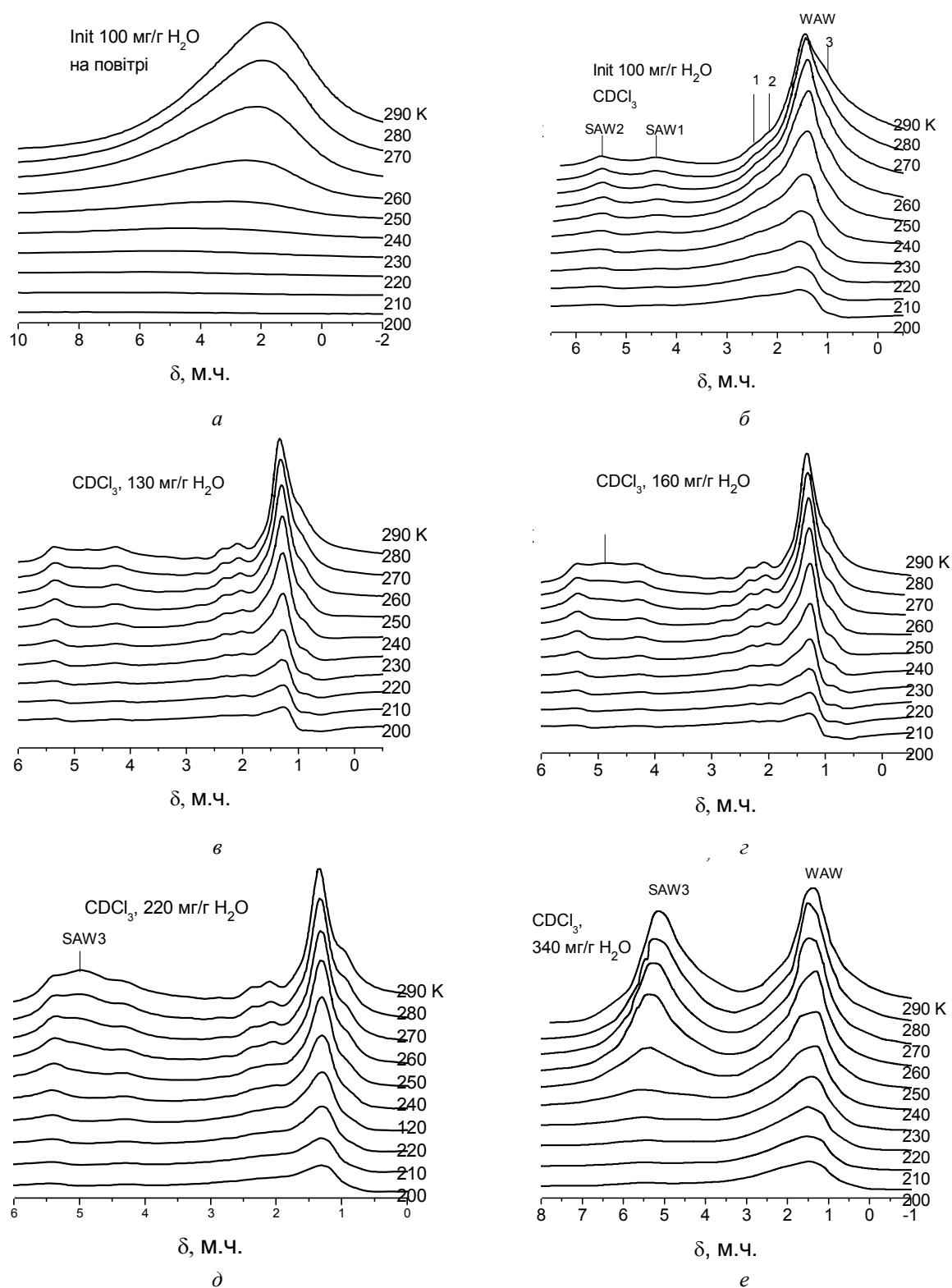
В спектрах можуть бути ідентифіковані кілька сигналів: два сигнали сильноасоційованої води (SAW1 і SAW2) з хімічними зсувами 5.5 та 4.4 м.ч. відповідно та кілька сигналів в області  $\delta_H = 1$ –2.5 м.ч. Найбільш інтенсивний з цих сигналів має хімічний зсув, що відповідає слабкоасоційованій воді [5–7]. Крім того, в спектрах спостерігаються сигнали 1, 2 та 3 з хімічними зсувами  $\delta_H = 2.4, 1.9$  та 0.9 м.ч. відповідно. Інтенсивність сигналів сильно- та слабкоасоційованої води істотно зменшується зі зниженням температури, в той час як для сигналів 1–3 переважно спостерігається збільшення їх ширини при незначній зміні інтенсивності.

При збільшенні кількості води в зразку Init (рис. 3 в–е), крім сигналів SAW1(2), з'являється сигнал SAW3 ( $\delta_H = 4.8$  м.ч.), інтенсивність якого зростає зі збільшенням гідратованості зразка і стає порівняною з інтенсивністю сигналу WAW при  $C_{H_2O} = 340$  мг/г (рис. 3 е). Оскільки при цьому загальна кількість адсорбованої води збільшується майже в 3.5 рази, слід вважати, що приблизно третина всієї доданої до зразка води стає слабкоасоційованою, а решта – сильноасоційованою.

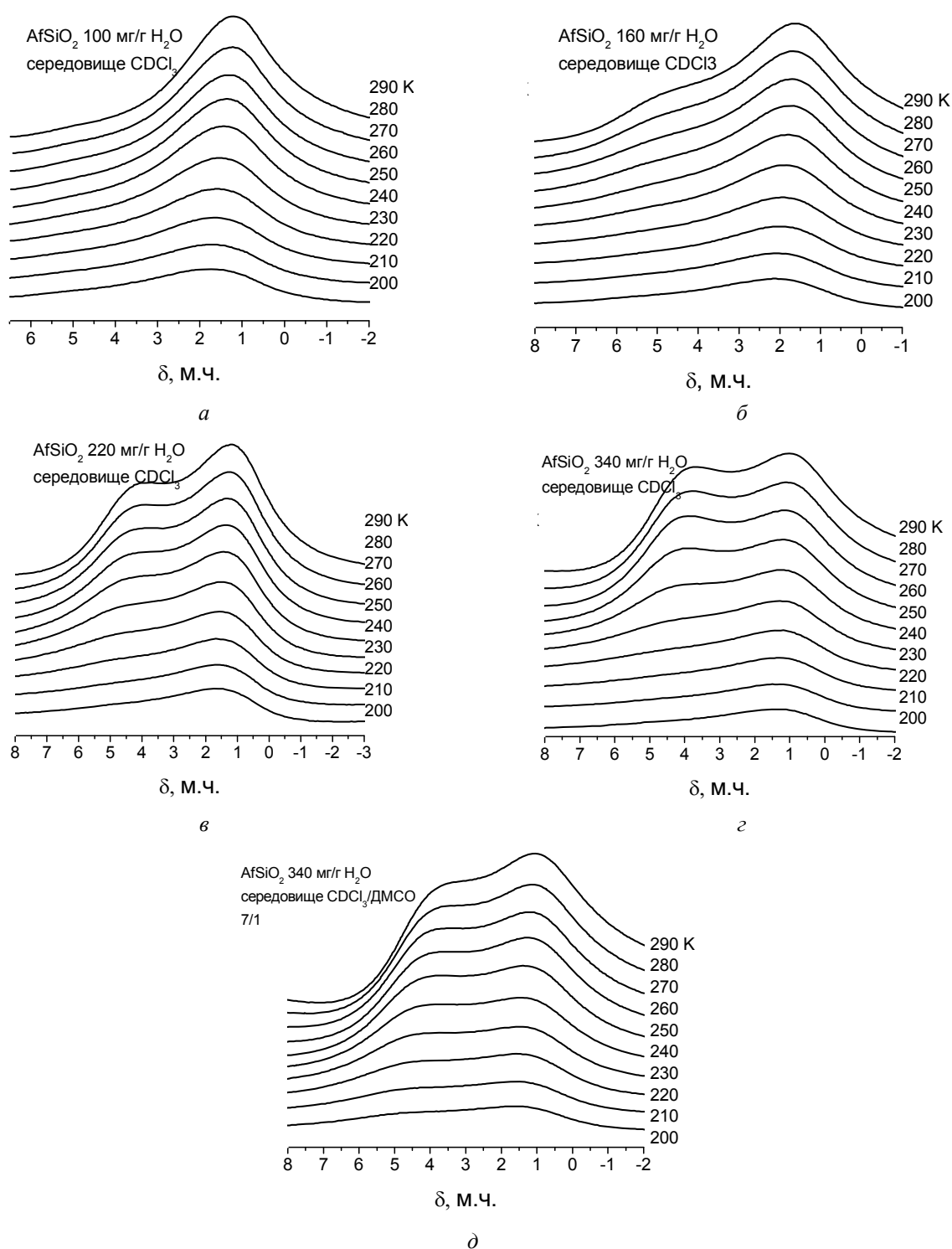
Віднесення сигналів 1–3 на рис. 3 не може бути здійснено однозначно. Так, за величиною хімічного зсуву сигнали 1 та 2 можуть бути віднесені до кластерів води, в яких кожна молекула бере участь в утворенні приблизно одного водневого зв'язку, або до окремих молекул води, адсорбованих на електроно-донорних центрах, що входять до складу структурних елементів кишкової тканини. Крім того, саме такі хімічні зсуви слід очікувати для протонів в тригліцеридах фосфорної кислоти, що входять до клітинного матеріалу як складова клітинних мембран [11]. При цьому основний сигнал груп  $CH_2$  в фосфоліпідах співпадає з сигналом слабкоасоційованої води ( $\delta_H = 1.2$ –1.4 м.ч.). Проте, інтенсивності сигналів аліфатичних протонів в молекулах фосфоліпідів повинні однаковим чином залежати від температури, оскільки при утворенні їхніх молекулярних кристалів (що характеризуються значно меншим часом поперечної релаксації) тверда фаза переставе рееструватися в спектрах ЯМР. Отже, основну частину сигналу з хімічним зсувом  $\delta_H = 1.4$  м.ч. (рис. 3), інтенсивність якого зі зниженням температури змінюється значно сильніше, ніж сигналів 1–3, слід відносити саме до слабкоасоційованих форм води.

Зі зниженням температури відбувається зменшення інтенсивності всіх сигналів зв'язаної води, причому максимальна зміна інтенсивності фіксується для сигналів WAW і SAW3. Під впливом середовища  $CDCl_3$  температура замерзання WAW знижується, тобто частина міжфазної води стає сильнозв'язаною. Така трансформація свідчить про можливість участі слабкополярного органічного середовища у формуванні структури кластерів води.

Для зразка тканини кишечника, що контактував з кремнеземом (зразок  $AfSiO_2$ , рис. 4) в спектрах  $^1H$  ЯМР спостерігаються лише два сигнали – WAW і SAW3. Їх ширина значно більше, ніж для зразка Init. У міру збільшення концентрації зростає питомий внесок від сигналу SAW3. При  $C_{H_2O} = 340$  мг/г інтенсивності обох сигналів стають близькими. Проте, додавання до 7 частин хлороформу 1 частини ДМСО стабілізує слабкоасоційовані форми міжфазної води (рис. 4 д).



**Рис. 3.** Одержані при різних температурах спектри  $^1\text{H}$  ЯМР зразка Init ліофілізованого кишкової тканини в повітряному середовищі: *a* –  $C_{\text{H}_2\text{O}} = 100$  мг/г; *b*–*e* – в середовищі  $\text{CDCl}_3$ , при  $C_{\text{H}_2\text{O}} = 100, 130, 160, 220, 320$  мг/г відповідно



**Рис. 4.** Одержані при різних температурах спектри  $^1\text{H}$  ЯМР зразка  $\text{AfSiO}_2$  ліофілізованої кишкової тканини в середовищі  $\text{CDCl}_3$  (а-д) при  $C_{\text{H}_2\text{O}} = 100, 160, 220, 340$  мг/г відповідно та в середовищі  $\text{CDCl}_3$ - $\text{DMCO}$  7/1 (е) при  $C_{\text{H}_2\text{O}} = 340$  мг/г

На рис. 5 для зразка  $\text{Init}$  для сильно-асоційованої води наведено залежності, розраховані для  $\text{SAW3}$ , а для слабо-асоційованої – для сигналу з хімічним зсувом

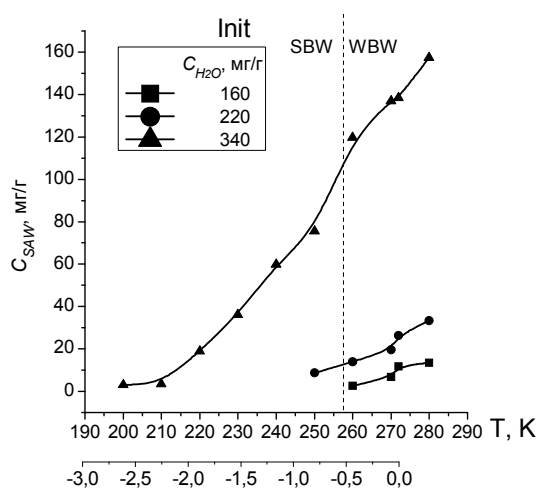
$\delta_{\text{H}} = 1.4$  м.ч. У випадку зразка  $\text{AfSiO}_2$  вважали, що сигнали, що спостерігаються в спектрах, належать лише до адсорбованої води: сильноасоційованої – сигнал в слабких

магнітних полях ( $\delta_H = 4-5$  м.ч.) і слабоасоційованої – в сильних полях ( $\delta_H = 1-2$  м.ч.). Крім шкали температур, наведено також шкалу зміни вільної енергії Гіббса, пов'язаної з температурним співвідношенням (2).

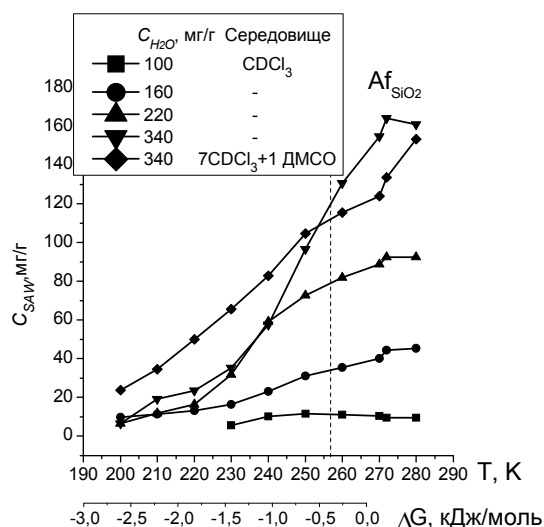
У відповідності з критеріями, наведеними в [5–7], міжфазну воду можна поділяти на сильно- та слабкозв'язану (SBW та WBW відповідно). При цьому слабкозв'язаною вважають ту частину міжфазної води, яка замерзає при температурі  $T > 265$  К ( $\Delta G > -0.5$  кДж/моль). Тоді на основі даних рис. 5 можна зробити висновок, що, незважаючи на слабку

гідратованість кишкової тканини, певна частина адсорбованої води може вважатись слабкозв'язаною. На рис. 5 ділянки залежностей  $C_{uw}(T)$ , що відповідають слабо- та сильнозв'язаній воді, показано вертикальними пунктирними лініями. Як видно з рис. 5, зразок кишкової тканини  $AfSiO_2$  при рівній кількості адсорбованої води містить менше WBW, ніж зразок Init.

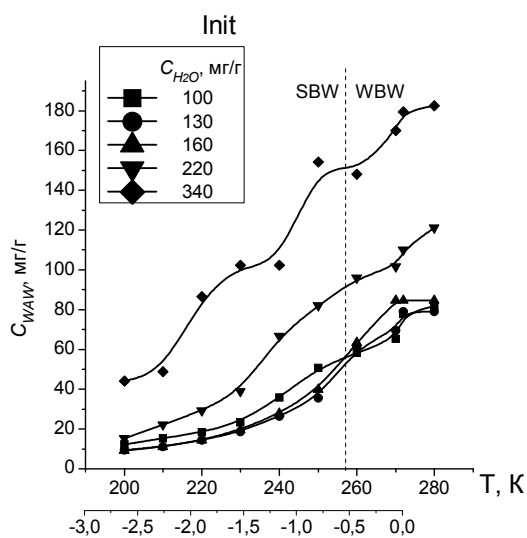
В повітряному середовищі сигнал адсорбованої на зразку Init води (переважно слабоасоційованої) має один максимум, розташований при  $R = 5$  нм (рис. 6 а).



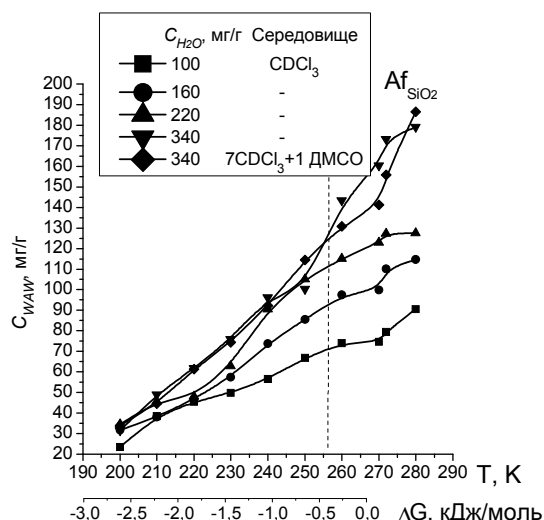
а



б



в



г

**Рис. 5.** Температурні залежності вмісту сильно- (а, б) та слабоасоційованої (в, г) води в контрольній тканині кишечника (а, в) та тканині, що контактувала з кремнеземом (б, г)

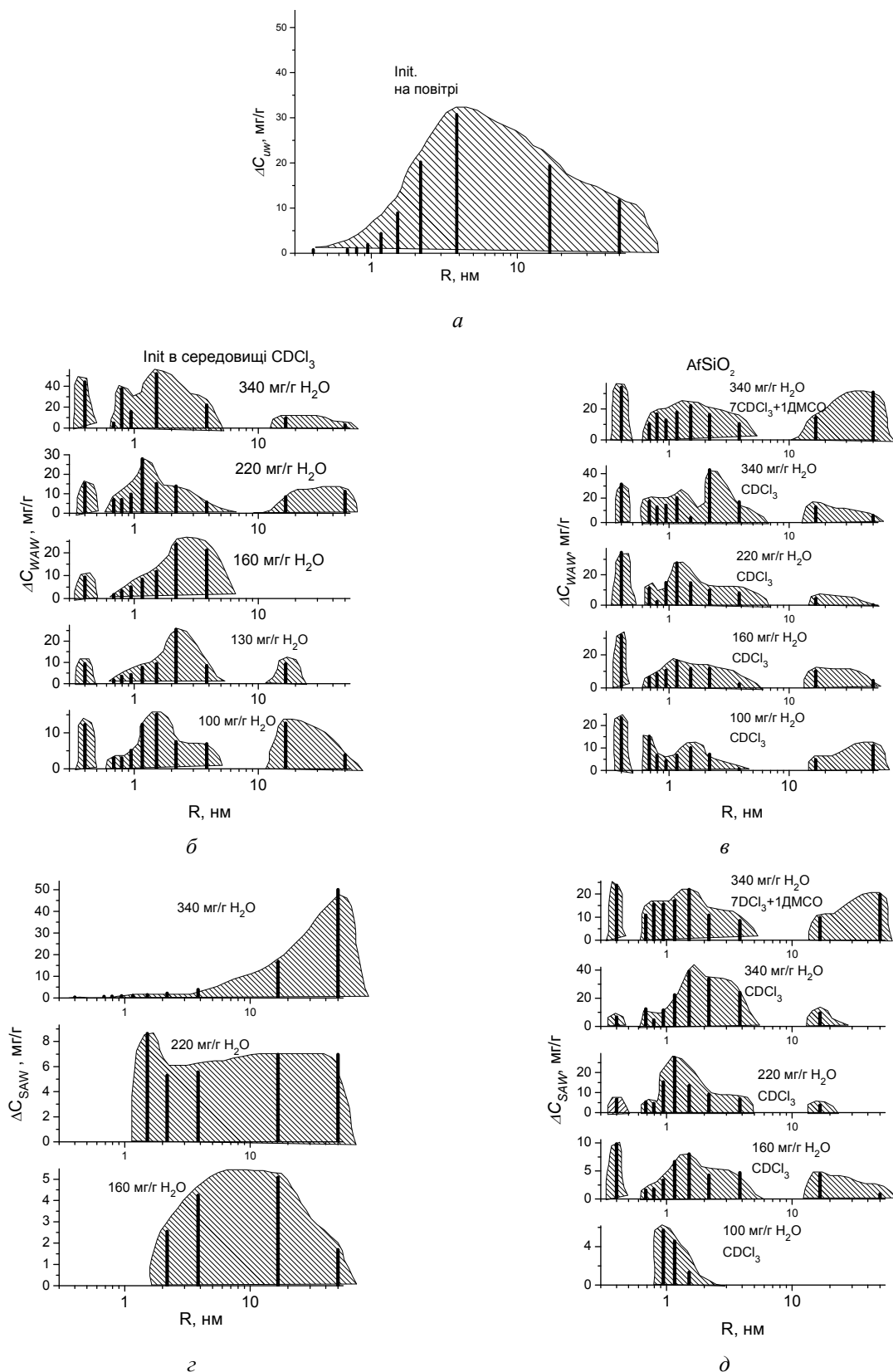


Рис. 6. Розподіли за розмірами кластерів води контрольного зразка (а, б, з) та зразка після контакту з SiO<sub>2</sub> (в, д) для кластерів WAW (б, в) і SAW (з, д) на повітрі (а) та в середовищі CDCl<sub>3</sub> (б-д)



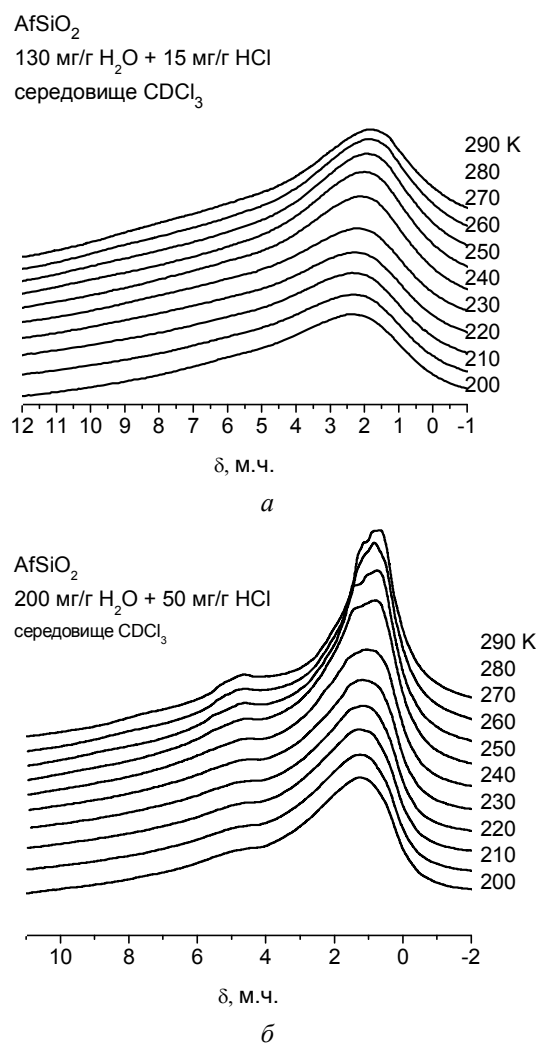
Слабоасоційована вода в контрольному та основному зразках (рис. 6, б, в) представлена трьома групами кластерів, розміри яких складають  $R < 0.5$ ,  $0.6 < R < 6$  та  $R > 10$  нм. Найбільшими з них є кластери води, що належать до слабкозв'язаної води, яка замерзає при температурі  $T > 257$  К (рис. 4). В середовищі  $\text{CDCl}_3$  загальний об'єм води, що входить до складу таких кластерів, немонотонним чином змінюється із зростанням вмісту води в зразках Init та  $\text{AfSiO}_2$ . Для обох зразків мінімальна кількість WBW спостерігається при середніх величинах гідратованості – 160 мг/г для зразка Init та 220 мг/г для зразка  $\text{AfSiO}_2$ . Форма кривої розподілу пор за радіусами для основної групи нанорозмірних кластерів WAW істотно змінюється із зростанням гідратованості, проте певної закономірності цих змін на основі даних рис. 6 б, в виявити не вдається.

Лівий пік на кривій розподілу належить до дуже малих кластерів або окремих молекул води, що взаємодіють з фрагментами тканини кишечника. Перехід їх в тверду фазу (замерзання) ускладнений необхідністю дифузії до місць локалізації найближчих до них кристалітів льоду. У відповідності з рис. 4 частину інтенсивності сигналу, ідентифікованого як сигнал WAW, можуть складати сигнали аліфатичних груп тригліцеридів фосфорної кислоти, що складають основу клітинних мембран. Саме вони в середовищі хлороформу не замерзають при найбільш низьких температурах.

Розподіли за розмірами кластерів сильноасоційованої води для зразків Init та  $\text{AfSiO}_2$  істотно різняться (рис. 6, з, д). Так, для зразка Init при  $C_{\text{H}_2\text{O}} = 160$  мг/г максимум розподілу спостерігається при  $R = 10$  нм. Із зростанням  $C_{\text{H}_2\text{O}}$  до 220 мг/г, крива розподілу розширюється і з'являється значна кількість кластерів SAW з  $R = 1.5$  нм. При подальшому збільшенні кількості адсорбованої води, різко зростає кількість кластерів води з  $R = 50$  нм. У зразку  $\text{AfSiO}_2$  спостерігається тримодальна крива розподілу, аналогічна кривій розподілу WAW. Як і у випадку WAW, не спостерігається певної закономірності у перерозподілі води за різними групами кластерів. Найбільш вузький розподіл має місце для вихідного зразка з гідратованістю  $C_{\text{H}_2\text{O}} = 100$  мг/г. При збільшенні

$C_{\text{H}_2\text{O}}$ , в тканині з'являються як менші, так і більші за розмірами кластери SAW. Додавання ДМСО до дисперсійного середовища призводить до зростання кількості найменших за розмірами кластерів адсорбованої води.

На рис. 7 наведено одержані при різних температурах спектри  $^1\text{H}$  ЯМР зразка  $\text{AfSiO}_2$ , що, окрім води, містив соляну кислоту. Оскільки використовувався розчин  $\text{HCl}$  у воді, що містив 36 %  $\text{HCl}$ , до зразка одночасно додавалось 30 мг/г (рис. 7 а) або 100 мг/г (рис. 7 б)  $\text{H}_2\text{O}$ .



**Рис. 7.** Одержані при різних температурах спектри  $^1\text{H}$  ЯМР зразка  $\text{AfSiO}_2$  в присутності соляної кислоти: а – 5 мас. %; б – 15 мас. %

Соляна кислота в її концентрованих водних розчинах, в залежності від температури, має хімічний зсув  $\delta_{\text{H}} = 8.5\text{--}9.5$  м.ч. [12]. Значна величина хімічного зсуву визначається істотним зменшенням електронної густини на

протоні в молекулі HCl, обумовленим великою електронегативністю атома хлору та частковою дисоціацією кислоти в її водних розчинах. Проте, як було показано в [12] на прикладі вивчення хімічних зсувів соляної кислоти, адсорбованої на нанокремнеземі, якщо вода перебуває у кластеризованому стані, розчинність в ній HCl значно зменшується.

В спектрах на рис. 7 спостерігається 2–3 широкі сигнали, що перекриваються, з хімічними зсувами  $\delta_H = 1.5, 4.5$  та  $7.5$  м.ч. При цьому перші два сигнали можуть бути віднесені до слабко- та сильноасоційованої води, хімічний зсув якої практично співпадає з хімічним зсувом води в зразках, що не містили HCl (рис. 4). Лише останній слабоінтенсивний сигнал відповідає сигналу водного розчину соляної кислоти. Мала інтенсивність сигналу водного розчину HCl може бути обумовлена формуванням солеподібних сполук в біополімерних молекулах. Тобто аналогічно тому, що спостерігалось раніше для HCl, адсорбованої на кремнеземі, в субклітинному матеріалі кишкової тканини кластери міжфазної води погано розчиняють HCl і існують майже в незмінному вигляді.

## ВИСНОВКИ

Адсорбована вода в тканині кишечника існує в кластеризованому стані, причому значна її частина присутня у вигляді слабкоасоційованої води з хімічним зсувом  $\delta_H = 1.5$  м.ч. Із зростанням гідратованості кількість сильноасоційованої води ( $\delta_H = 4.5$  м.ч.) збільшується швидше, ніж слабкоасоційованої, так що вони стають порівняними при  $C_{H_2O} = 340$  мг/г.

Завдяки контакту з Силіксом, в тканині кишечника збільшується кількість слабкоасоційованої води та зменшується середній розмір кластерів адсорбованої води, що, імовірно, і впливає на процеси всмоктування поживних речовин у тонкій кишці.

Соляна кислота погано розчиняється як в сильно-, так і слабкоасоційованій воді. Не більше 15 % від доданої до зразка соляної кислоти спостерігається у вигляді сигналу з хімічним зсувом  $\delta_H = 7-8$  м.ч. Решта, імовірно, утворює з біополімерами клітинного матеріалу сольові структури або

слабо рухливі системи, що не спостерігаються у спектрах  $^1H$  ЯМР.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Медицинская химия и клиническое применение диоксида кремния / Под ред. А.А. Чуйко. – Киев: Наукова думка, 2003. – 415 с.
2. Вильцанюк А.А., Геращенко И.И. Энтеросорбция в комплексном лечении острых хирургических заболеваний органов брюшной полости. – Харьков., 2009. – 128 с.
3. 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.
4. McMurtrie H., Rikel J.K. The Coloring Review Guide to Human Anatomy, McGraw-Hill., 1990. – 448 p.
5. Gun'ko V.M., Turov V.V., Bogatyrev V.M. et al. Unusual properties of water at hydrophilic/hydrophobic Interfaces // Adv. Colloid. Interf. Sci. – 2005. – V. 118, N 1–3. – P. 125–172.
6. Гунько В.М., Туров В.В., Горбик П.П. Вода на межфазной границе, – Киев: Наукова думка, 2009. – 694 с.
7. Туров В.В., Гунько В.М. Кластеризованная вода и пути ее использования. – Киев: Наукова думка, 2011. – 313 с.
8. Западнюк И.П., Западнюк В.И., Захария Е.А., Западнюк Б.В. Лабораторные животные. Разведение, содержание, использование в эксперименте. – 3-е изд., перераб. и доп. – Киев: Вища школа, Головное изд-во, 1983. – 383 с. (Гл. 9. Крысы. – С. 243–277.)
9. Petrov O.V., Furo I. NMR cryoporometry: Principles, application and potential // Progr. In NMR. – 2009. – V. 54. – P. 97–122.
10. Термодинамические свойства индивидуальных веществ / Под ред. В.П. Глушкова. – Москва: Наука, 1978. – 495 с.
11. Turov V.V., Kerus S.V., Gun'ko V.M. Behaviour of water bound in bone marrow cells affected by organic solvents of different polarity // Cryobiology. – 2009. – V. 59. – P. 102–112.

12. Turov V.V., Gun'ko V.M., Turova A.A. et al. Interfacial behavior of concentrated HCl solution and water clustered at a surface of nanosilica in weakly polar solvents media // Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects. – 2011. – V. 390. – P. 48–55.

Надійшла 15.10.2012, прийнята 18.01.2013

**Влияние контакта с нанокремнеземом А-300  
на гидратацию субклеточного материала тонкой кишки крысы**

**В.В. Туров, Л.П. Морозова, Е.И. Штат'ко, М.Б. Луцюк, А.А. Турова, И.В. Таран**

*Институт химии поверхности им. А.А. Чуйко Национальной академии наук Украины  
ул. Генерала Наумова, 17, Киев, 03164, Украина, v\_turov@ukr.net  
Винницкий Национальный медицинский университет им. М.И. Пирогова  
ул. Пирогова, 56, Винница, 21018, Украина*

*Методом  $^1\text{H}$  ЯМР спектроскопии, ЯМР-криопорометрии и сканирующей электронной спектроскопии изучено состояние воды в тканях кишечника и влияние на него контакта кремнеземом А-300. Установлено, что адсорбированная вода в тканях кишечника находится в кластеризированном состоянии и благодаря контакту с Силиксом увеличивается количество слабоассоциированной воды и уменьшается средний размер кластеров адсорбированной воды. Показано, что соляная кислота плохо растворяется как в сильно-, так и в слабоассоциированной воде.*

**Effect of contact with A-300 nanosilica on hydration of subcell material of rat small intestine**

**V.V. Turov, L.P. Morozova, O.I. Shtat'ko, M.B. Lutsyuk, A.A. Turova, I.V. Taran**

*Chuiiko Institute of Surface Chemistry of National Academy of Sciences of Ukraine  
17 General Naumov Str., Kyiv, 03164, Ukraine, v\_turov@ukr.net  
Pirogov Vinnitsa National Medical University  
56 Pirogov Str., Vinnitsa, 21018, Ukraine*

*The state of water in the intestine as tissues effected by contact with silica A-300 has been studied using low-temperature  $^1\text{H}$  NMR spectroscopy method, NMR-cryoporometry, and scanning electron spectroscopy. It has been found that adsorbed water in the intestine tissues is in cluster state and due to contact with Silics, the amount of weakly associated water increases and the average cluster size of adsorbed water is reduced. It has been shown that hydrochloric acid is badly soluble in both slowly and weakly associated water.*