

# Влияние высокодисперсных материалов на физиологическую активность дрожжевых клеток

Т. В. Крупская, А. А. Турова, В. М. Гунько, В. В. Туров

Институт химии поверхности НАН Украины  
Ул. Генерала Наумова, 17, Киев, Украина, 03164  
turova83@inbox.ru

---

***Цель.** Изучить влияние на жизнедеятельность суспензии дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae* двух типов коллоидных частиц – минеральных (модифицированных нанокремнеземов) и композитных (приготовленных на основе гидрогелей крахмала и модифицированных нанокремнеземов). **Методы.** В модельной системе дрожжевые клетки–нанокремнезем с использованием  $^1\text{H}$  ЯМР спектроскопии в сочетании с методикой вымораживания жидкой фазы исследована структура межфазных слоев воды. **Результаты.** Установлено, что высокодисперсные материалы существенно влияют на строение переходных слоев воды в дегидратированных клетках. **Выводы.** Модифицированные кремнеземы стимулируют процессы жизнедеятельности дрожжевых клеток.*

*Ключевые слова:*  $^1\text{H}$  ЯМР спектроскопия, гидратированность, незамерзающая вода, модифицированные кремнеземы, суспензии дрожжевых клеток.

---

**Введение.** В последнее время много внимания уделяют изучению контактных взаимодействий микроорганизмов с высокодисперсными материалами, способными существенно влиять на физиологическую активность микробных популяций, изменяя интенсивность и направленность биохимических процессов, скорость размножения микроорганизмов, интенсивность прироста биомассы. В ряде случаев снижение метаболической активности микроорганизмов при их взаимодействии с нанокompозитами имеет важное биотехнологическое значение – способствует их выживанию в состоянии анабиоза [1–3]. Однако известно, что при контакте микроорганизмов с твердыми материалами их физиологическая активность может также существенно повышаться [2–4].

Цель данной работы состояла в исследовании влияния на жизнедеятельность суспензии дрожже-

вых клеток *Saccharomyces cerevisiae* двух типов коллоидных частиц – минеральных (модифицированных нанокремнеземов) и композитных (приготовленных на основе гидрогелей крахмала и модифицированных нанокремнеземов), а также в сопоставлении полученных результатов со структурой межфазных слоев воды в модельной системе дрожжевые клетки–нанокремнезем.

**Материалы и методы.** Для исследований выбраны модифицированные кремнеземы, синтезированные на основе высокодисперсного кремнезема (ВДК) (с удельной поверхностью  $S = 300 \text{ м}^2/\text{г}$  производства Калушского экспериментального завода Института химии поверхности им. А. А. Чуйко НАН Украины) и силохрома ( $S = 120 \text{ м}^2/\text{г}$ , ООО «Химлаборреактив», Украина) методом химического модифицирования аминопропилметилсиланом («Aldrich», США) и фосфористой кислотой («Aldrich»), в которых приблизительно треть силанольных групп замещалась аминопропилметиль-

ными. В результате синтезированы аминопропилметилсилан макропористый (АПМС<sup>м.п.</sup>) силохром и аминопропилметилсилан высокодисперсный кремнезем (АПМС<sup>в.д.</sup>) [5]. В дальнейшем для АПМС<sup>в.д.</sup> один из протонов аминогруппы замещали остатком фосфористой кислоты. Концентрацию закрепленных групп на поверхности кремнезема контролировали элементным анализом (С, Н, Р, N) [6]. В результате поверхность кремнезема приобретала основные (АПМС<sup>б.д.</sup>) или кислотные (фосфорсодержащий кремнезем) свойства.

В качестве биополимерных коллоидных частиц применяли картофельный крахмал ООО «Химлаборреактив», полученный в соответствии с ГОСТ 10163-76 100833. Для создания нанокompозитов использовали водные гели крахмала (4–50 мас. % биополимерной фазы) с добавками ВДК при соотношениях концентраций крахмал:кремнезем 9:2; 7,8:1; 1,4:1; 1:1,4; и 1:3. Гидрогели готовили, тщательно перемешивая порошкообразные компоненты и добавляя требуемое количество воды. Далее смесь нагревали при интенсивном перемешивании до температуры 87 °С.

Объектом исследований служили сухие хлебопекарские дрожжи *Sac. cerevisiae* (производства ЗАО «Энзим», Украина), которые культивировали в 8 %-м растворе глюкозы (производства ВАТ «Фармак», Украина, раствор для инъекций) при температуре 28 °С. При анализе роста дрожжей непосредственно подсчитывали количество клеток, а также измеряли параметры, зависящие от числа клеток, – мутность раствора и выделение углекислого газа, согласно методике [7, 8]. При этом в колбу емкостью 0,25 л помещали 0,1 л среды, содержащей 8 % глюкозы, прибавляли 1 г сухих дрожжей и колбу закрывали пробкой со встроенным в нее затвором. В результате брожения в колбе образовывался углекислый газ, который свободно испарялся, в результате чего масса реакционного сосуда уменьшалась. Выделившийся углекислый газ определяли количественно. Вначале опыта колбу со средой, дрожжами и затвором взвешивали на технических весах ВЛКТ-500 (ГОСТ 24000104-80) с точностью до 0,01 г. Далее реакционную колбу взвешивали периодически, что позволяло определять массу выделившегося углекислого газа за опреде-

ленные промежутки времени. Количество клеток подсчитывали с помощью микроскопа в камере Горяева. Мутность суспензии измеряли по величине оптической плотности с использованием фотоколориметра КФК-2 при длине волны 670 нм и длине оптического пути 0,1 см. При этом использовали красный фильтр с максимумом полосы пропускания при  $\lambda = 670$  нм [9].

Для исследования характеристик межфазных слоев воды применен метод послойного вымораживания жидкой фазы с <sup>1</sup>H ЯМР регистрацией сигнала незамерзающей воды [10–15]. С помощью этого метода по изменению температуры замерзания можно определять термодинамические характеристики межфазных слоев воды. Спектры ЯМР записывали на спектрометрах высокого разрешения Varian 400 Mercury (США). Для получения <sup>1</sup>H ЯМР спектров использовали 90°-зондирующий импульс. Температуру образца регулировали с помощью термоприставки Bruker VT-1000. Погрешность измерений составляла  $\pm 10$  % по интенсивности <sup>1</sup>H-ЯМР сигнала и  $\pm 1$  К по температуре. Для предотвращения переохлаждения изучаемых систем концентрацию незамерзающей воды измеряли после предварительного охлаждения образца до температуры –63 °С [10, 13, 15]. Сигнал от молекул воды, входящих в состав льда (так же, как и протонов макромолекул), не давал вклада в регистрируемый <sup>1</sup>H ЯМР сигнал подвижной воды вследствие малых времен ( $\sim 10^{-6}$  с) поперечной релаксации протонов в твердых телах. Химические сдвиги протонов внутриклеточной воды измеряли на воздухе (с использованием внешнего стандарта CHCl<sub>3</sub>,  $\delta_{\text{H}} = 7,26$  м. д.) или в среде CDCl<sub>3</sub>. В хлороформе растворяется относительно небольшое количество воды (< 0,6 % мас. при  $T < 295$  К). Поэтому можно полагать, что вода, растворенная в хлороформе, не вносит существенного вклада в общий сигнал <sup>1</sup>H-ЯМР. Следует отметить, что использование CDCl<sub>3</sub> позволяет более точно определить химический сдвиг протонного резонанса ( $\delta_{\text{H}}$ ) связанной воды, устранить неоднородное уширение сигнала ЯМР и замедлить молекулярный обмен между кластерами воды, связанными с разными активными центрами [10–15].

**Результаты и обсуждение.** Результаты измерения биометрических показателей воздействия на-

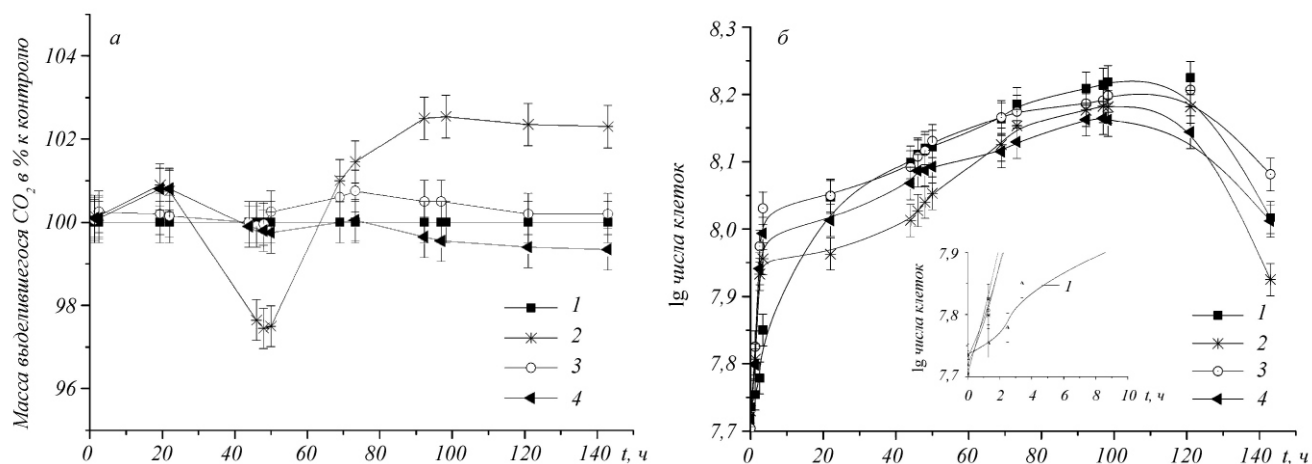


Рис. 1. Динамика выделения углекислого газа в процессе брожения дрожжей (а) и прирост биомассы дрожжевых клеток в присутствии модифицированных кремнезёмов (б): 1 – контроль; 2 – фосфорсодержащий кремнезём; 3 – АПМС<sup>м.н.</sup>; 4 – АПМС<sup>н.д.</sup>

нокремнезёмов на жизнедеятельность суспензии дрожжевых клеток приведены на рис. 1. При инкубировании определенной массы дрожжевых клеток в замкнутом объеме, содержащем фиксированное количество питательных веществ (глюкозы), рост суспензии дрожжевых клеток можно охарактеризовать тремя основными стадиями [9]: первая – лаг-фаза, в течение которой клетки приспосабливаются к новой среде, эта стадия развития относительно короткая и не превышает нескольких часов; вторая – экспоненциальная фаза, где происходят рост колонии, накопление в ней биомассы клеток и стабильное выделение углекислого газа за счет высокой дыхательной активности клеток; третья – стационарная, когда клеточная колония деградирует, что связано с уменьшением концентрации питательных веществ и накоплением продукта клеточного метаболизма – этилового спирта. Во время этой стадии разрушается большое количество клеток.

Для всех изученных систем, содержащих добавки кремнезёмных материалов, наблюдаются сходные изменения кривых газовой выделения и прироста биомассы. Начальная стадия процесса (до 5 ч) характеризуется быстрым делением клеток и их высокой дыхательной активностью. При этом лаг-фазы не регистрировали. Следовательно, в присутствии нанокремнезёмов клетки чрезвычайно быстро приспосабливаются к среде, начинают делиться и имеют высокую дыхательную активность. Через 40 ч (в экспоненциальной фазе) отмечается относитель-

ный минимум (по отношению к контролю – 8 %-му раствору глюкозы без добавок) дыхательной активности (рис. 1, а), который для фосфорсодержащего кремнезёма (образец 2) отвечает уменьшению объема газовой выделения, хотя процесс деления клеток продолжается достаточно интенсивно (рис. 1, б). При дальнейшем инкубировании клеточной суспензии газовой выделение опять возрастает и именно для образца 2 наблюдается абсолютный максимум газовой выделения при времени инкубирования 90 ч, значительно превосходящий относительные максимумы для других образцов. Затем для всех образцов скорость газовой выделения снижается из-за накопления в растворе этилового спирта, уменьшения содержания глюкозы и разрушения значительного количества клеток.

Поскольку для контрольного образца – суспензии дрожжевых клеток в растворе глюкозы – стадии относительного снижения интенсивности дыхательной активности дрожжевых клеток через 30–60 ч инкубации не наблюдается, следует предположить, что эта стадия обусловлена присутствием кремнезёмных частиц. Модифицированные кремнезёмы, как и немодифицированные, обладают высокой адсорбционной способностью к биополимерным молекулам и клеточным объектам [1–3]. Поэтому, как нам кажется, в процессе приготовления образцов частицы кремнезёмов и клетки образуют устойчивые агрегаты, структура которых определяется минимумом свободной энергии сис-

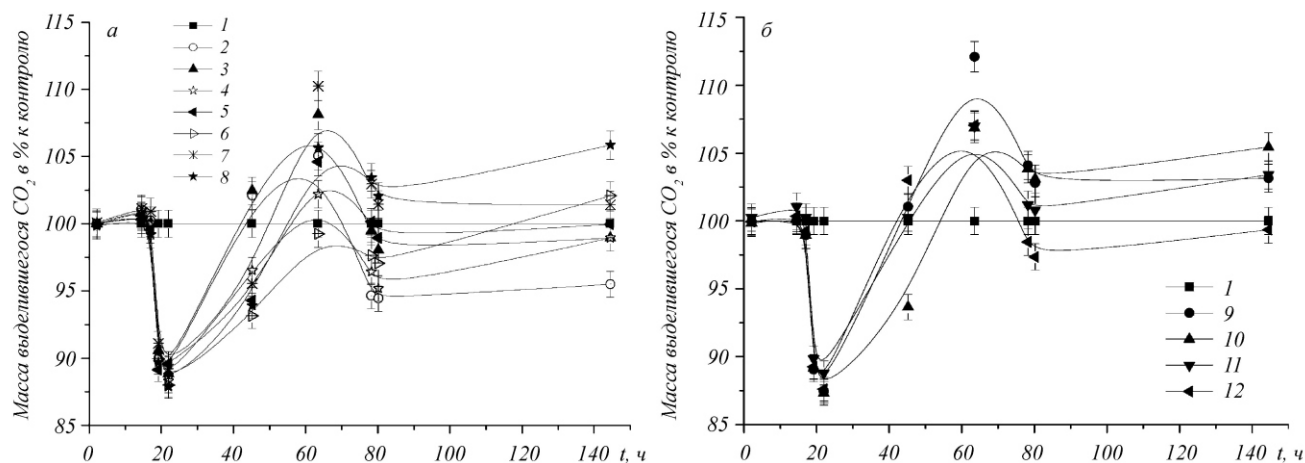


Рис. 2. Динамика выделения CO<sub>2</sub> в процессе брожения, осуществляемого суспензией клеток дрожжей: 1 – контроль; 2 – крахмал (7,8):ВДК (1):вода (138,8); 3 – крахмал (7,8):ВДК (1):вода (72); 4 – крахмал (7,8):ВДК (1):вода (12,2); 5 – крахмал (1):ВДК (3):вода (30); 6 – крахмал (1):ВДК (1,4):вода (20); 7 – крахмал (1,4):ВДК (1):вода (14); 8 – крахмал (4,5):ВДК (1):вода (16); 9 – крахмал (1):АПМС<sup>н.а</sup> (3):вода (30); 10 – крахмал (1):АПМС<sup>н.а</sup> (1,4):вода (20); 11 – крахмал (1,4):АПМС<sup>н.а</sup> (1):вода (14); 12 – крахмал (4,5):А:ПМС<sup>н.а</sup> (1):вода (16)

темы клетки–вода–кремнезем. Именно в таких агрегатах клетки переходят из состояния анабиоза к активному функционированию. При этом частицы кремнезема улучшают приспособляемость клеток к среде и способствуют их быстрому размножению. Однако по мере накопления биомассы вновь образовавшиеся клетки изменяют устойчивость агрегатов клетки–кремнезем и последние (после достижения некоторого критического состояния коллоидной системы) начинают разрушаться и формировать агрегаты другого состава, отвечающие изменившимся термодинамическим параметрам коллоидного раствора. Первоначально дыхательная активность клеток, утративших контакт с поверхностью, замедляется, что и проявляется (рис. 1, а) в виде минимума зависимости  $m_{CO_2}(t)$ . После завершения переагрегирования суспензии дыхательная активность клеток снова возрастает и может превышать исходную за счет взаимодействия каждой минеральной частицы с большим количеством клеток.

Обращает на себя внимание тот факт, что кривые газовыделения и накопления биомассы не совпадают. Так, количество клеток по отношению к контролю в присутствии наноматериалов уменьшается, в то время как их дыхательная активность возрастает. Из этого следует, что нанодисперсные материалы способны существенно интенсифициро-

вать жизненные процессы клеточных культур и повышать скорость переработки ими глюкозы, не влияя существенно на скорость деления клеток. Особо ярко это проявляется для фосфорсодержащего образца, что, вероятно, обусловлено его кислотными свойствами.

Для подтверждения изложенных предположений изучали влияние на жизнедеятельность суспензий дрожжевых клеток нанокompозитов, приготовленных на основе кремнеземов, инкорпорированных в гели крахмала. Поскольку крахмал с кремнеземами образует стойкие биокolloидные системы [16], можно ожидать, что, диспергируя биокомпозит в клеточной суспензии, в ней будут формироваться сложные агрегаты клетки–крахмал–кремнезем, в которых с поверхностью клеток станут контактировать не минеральные частицы, а их биополимерные оболочки, т. е. таким образом предотвращается непосредственный контакт клетка–частица на первых стадиях инкубирования.

На рис. 2 показано влияние гидрогелей крахмала с добавками высокодисперсного и модифицированных кремнеземов на газовыделение дрожжевых клеток. Как следствие, защита минеральных частиц биополимерной оболочкой ухудшает приспособляемость клеток к среде культивирования. Однако общее количество образовавшегося CO<sub>2</sub> для исследо-

*Влияние модифицированных кремнезёмов и их композитов с крахмалом на рост дрожжевых клеток Sac. cerevisiae*

№ образца	Тип кремнезёма	Количество клеток в процентах к контролю**
1	Контроль	100,0
2	Фосфорсодержащий кремнезём	90,6
3	АПМС <sup>м п.</sup>	96,0
4	АПМС <sup>б л.</sup>	83,1
5	Крахмал (7,8)*:ВДК (1)*:вода (138,8)*	125,9
6	Крахмал (7,8)*:ВДК (1)*:вода (72)*	131,2
7	Крахмал (7,8)*:ВДК (1)*:вода (12,2)*	116,4
8	Крахмал (1)*:ВДК (3)*:вода (30)*	120,4
9	Крахмал (1):ВДК (1,4):вода (20)	122,5
10	Крахмал (1,4):ВДК (1):вода (14)	108,8
11	Крахмал (4,5):ВДК (1):вода (16)	121,5
12	Крахмал (1):АПМС <sup>б л.</sup> (3):вода (30)	123,8
13	Крахмал (1):АПМС <sup>б л.</sup> (1,4):вода (20)	118,2
14	Крахмал (1,4):АПМС <sup>б л.</sup> (1):вода(14)	133,5
15	Крахмал (4,5):АПМС <sup>б л.</sup> (1):вода (16)	129,3

\*Массовые соотношения компонентов в образцах; \*\*контроль – суспензия дрожжевых клеток и 8 %-й раствор глюкозы.

ванных образцов превышает контроль на 15–30 %, что свидетельствует о сохранении стимулирующего воздействия наноксидов на жизнедеятельность дрожжевых клеток (таблица). Как и в случае индивидуальных оксидов, на кинетических кривых сохраняется участок, отвечающий реорганизации коллоидной системы в результате накопления биомассы клеток, сопровождающейся относительным уменьшением их дыхательной активности. Стадия деградации колонии клеток сдвигается вправо и при выбранной длительности инкубации (140 ч) не наблюдается.

Из данных таблицы следует, что в отличие от исходных оксидов и независимо от типа использованного бионаноккомпозита их внесение в среду культивирования оказывает стимулирующее влияние на процесс клеточного деления. Максимальный прирост биомассы (29–33 %) зафиксирован для вы-

сокодисперсного аминопропилметилсилана (таблица, образцы 14, 15). Изменение соотношения концентраций минеральной и биополимерной составляющих в наноккомпозитах не приводит к систематическому варьированию их биологической активности, хотя в работе [16] показано, что это соотношение может сильно влиять на конформационное состояние биополимерных молекул крахмала. Вероятно, стимулирующее воздействие нанокремнезёмов на дрожжевые клетки проявляется в случае, когда молекулы крахмала или их агрегаты на поверхности частиц наноксидов уже замещены клетками. При этом конформационное состояние молекул крахмала становится несущественным.

Для выяснения возможных причин стимулирующего воздействия кремнезёмов на жизнедеятельность дрожжевых клеток на модельной системе высокодисперсный кремнезём–дрожжевые клетки исследовали действие наноразмерных частиц на состояние воды в зоне контакта, поскольку именно такие взаимодействия могут приводить к существенным изменениям клеточного метаболизма.

На рис. 3 приведены спектры <sup>1</sup>H ЯМР воды в частично дегидратированных дрожжевых клетках (рис. 3, а, б – соответственно образцы 1, 2), в порошке кремнезёма, полученном высушиванием его водной суспензии, содержащей 4 % мас. адсорбированной воды (рис. 3, в, образец 3), и в композите, состоящем из высушенной смеси (2:1) дрожжевых клеток и кремнезёма, включающем разное количество связанной воды (рис. 3, г–е, образцы 4–6). Измерения проводили в слабополярной среде дейтерохлороформа, присутствие которого существенно уменьшало ширину сигналов ЯМР и позволяло точно определять химический сдвиг связанной воды, а также стабилизировало состояние воды в дрожжевых клетках и на межфазной границе клетка–частицы высокодисперсного кремнезёма.

Сигнал воды в дрожжевых клетках (рис. 3, а, б), содержащих 11–27 % мас. связанной воды, наблюдается в виде одиночного сигнала с химическим сдвигом  $\delta_{\text{H}}$  1,3 м. д. При столь низком содержании воды в клетках вся она является связанной, т. е. водой, испытывающей сильное возмущающее влияние смежной фазы. В клетках такой фазой может служить поверхность структурных элементов внут-

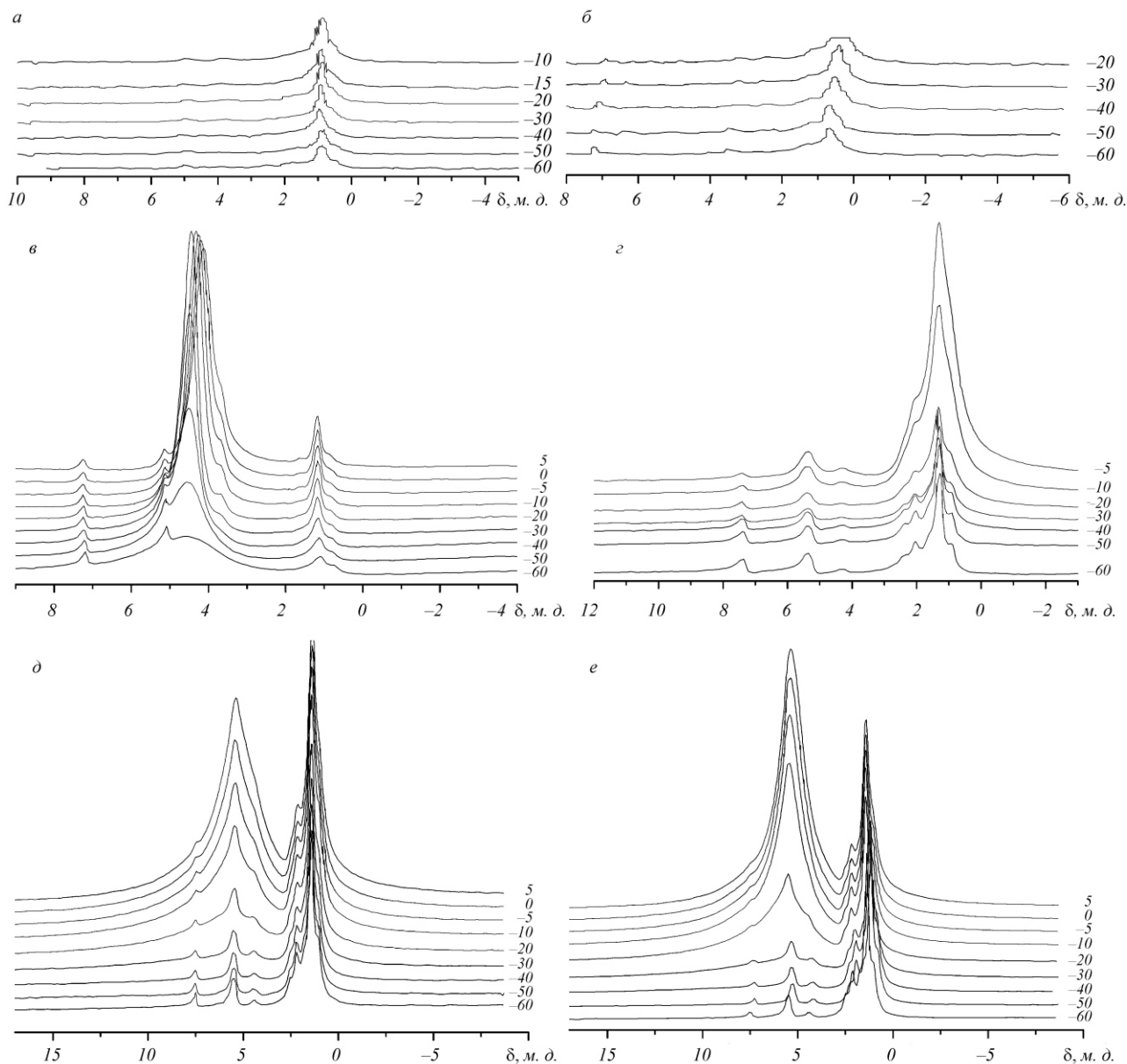


Рис. 3. Спектры  $^1\text{H}$  ЯМР связанной воды: *a, б* – в частично дегидратированных дрожжевых клетках; *в* – в порошке кремнезема, приготовленного высушиванием его водной суспензии; *г–e* – в дегидратированных композитах 2:1 клеточной массы с кремнеземом, содержащих разное количество воды

ри клетки и биополимерных веществ, перешедших в твердое состояние в процессе дегидратации. Химический сдвиг межфазной воды определяется количеством водородных связей, в которых участвует каждая молекула воды, и прочностью водородных связей, образованных водой с функциональными группами поверхности.

Учитывая тот факт, что количество водородных связей вода–вода может быть намного больше, чем связей вода–поверхность (каждая молекула воды

может участвовать в образовании четырех водородных связей), а прочность этих типов связей мало различается, можно считать, что химический сдвиг воды определяется, прежде всего, координационным числом воды [10–12]. При изменении последнего от 0 до 4 химический сдвиг протонов воды меняется от 1,3 до 7 м. д. [12]. Следовательно, вся внутриклеточная вода является слабоассоциированной, так как каждая молекула воды участвует в формировании менее одной водородной связи.

В спектрах  $^1\text{H}$  ЯМР порошка кремнезема, полученного высушиванием его водной суспензии и содержащего около 4 мас. % воды, в среде дейтеро-хлороформа фиксируется несколько сигналов. Наиболее интенсивным является сигнал сильноассоциированной воды, адсорбированной на поверхности кремнезема, с химическим сдвигом  $\delta_{\text{H}} = 4,2\text{--}4,8$  м. д. Величина химического сдвига свидетельствует о том, что каждая молекула воды принимает участие в формировании в среднем 2,5 водородной связи. Это вода с частично разрушенной, льдоподобной структурой, характерной как для жидкой воды, так и для большинства биологических объектов, содержащих связанную воду. Сигналы с химическими сдвигами  $\delta_{\text{H}} = 7,26$ ; 5 и 1,3 м. д. отвечают протонам СН недегидрированного хлороформа, присутствующего в виде примеси, ОН-протонов в наночастицах воды, диспергированной в фазе хлороформа и слабоассоциированной воды соответственно.

Для композитных систем, содержащих клеточную массу и кремнезем (рис. 3, *г–е*), дегидратированных в тех же условиях, что и суспензия кремнезема (спектр которой приведен на рис. 3, *в*), при  $C_{\text{H}_2\text{O}} = 12\%$  мас. более 90 % общего количества связанной воды относится к слабоассоциированной. Однако в отличие от образца 1 (рис. 3, *а*) при добавлении фиксированных порций воды к образцу 3 (рис. 3, *б*) интенсивный сигнал сильноассоциированной воды регистрируется при значительно меньшей концентрации связанной воды, чем это имело место для частично дегидратированной клеточной массы (рис. 3, *б, д, е*). В образце 5 (рис. 3, *д*) к слабоассоциированной относится примерно 30 % воды, а в образце 6 (рис. 3, *е*) – примерно 20 % от общего количества связанной воды.

Таким образом, ВДК оказывает существенное влияние на строение переходных слоев воды в дегидратированных клетках. При контакте поверхности частиц кремнезема с клеточной поверхностью происходят не только уменьшение концентрации связанной воды, обусловленное взаимодействием клетка–поверхность [10], и вытеснение граничной воды с дегидратацией обеих поверхностей, но и изменение структуры межфазной воды. Большая часть воды, локализованной на границе клетка–поверхность, превращается из сильноассо-

циированной в слабоассоциированную. Следовательно, частицы кремнезема, располагаясь на поверхности клеток, могут сильно влиять на проницаемость клеточных мембран, поскольку вода в слабоассоциированном состоянии одинаково хорошо растворяет как полярные, так и неполярные вещества, способствуя тем самым интенсификации процессов клеточного метаболизма. Это активизирует жизнедеятельность клеток и приводит к усилению газовыделения, росту биомассы, что и наблюдается экспериментально.

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод о значительном стимулирующем влиянии модифицированных кремнеземов и нанокм-позитов на их основе на процессы жизнедеятельности клеток *Sac. cerevisiae*. Механизм этого воздействия достаточно сложен. Он, по-видимому, обусловлен переходом водно-органических систем, расположенных на межфазной границе клетка–кремнезем, в кластерное состояние, характеризующееся присутствием слабоассоциированных форм воды. Это особое состояние вещества, в котором межфазная вода становится легко проницаемой как для полярных, так и неполярных органических веществ, что способствует процессам клеточного метаболизма. Однако, несмотря на то, что дыхательная активность клеток повышается в случае и нанокремнеземов, и нанокм-позитов на их основе, репродуктивная способность клеток возрастает только при использовании нанокм-позитов крахмал–нанокремнезема.

Таким образом, применение нанобиостимуляторов дает возможность управлять разными аспектами клеточного метаболизма, направленными как на увеличение биомассы клеток, так и на интенсификацию процесса брожения. Эти свойства наноразмерных биостимуляторов могут быть использованы в различных биотехнологических процессах.

*T. V. Krupskaya, A. A. Turova, V. M. Gun'ko, V. V. Turov*

Influence of highly dispersed silica on physiological activity of yeast cells

Summary

**Aim.** The influence of two types of colloidal particles, mineral (based on modified nanosilica) and composite (based on starch hydrogels and modified nanosilicas) on the activity of yeast cells was investigated. **Methods.** The structure of interfacial water layers

in the system of yeast cells/nanosilica was studied by NMR spectroscopy in combination with a water freezing technique. **Results.** It was found that Highly Dispersed Silica (HDS) strongly influences the structure of the interfacial water layers in the dehydrated cells. **Conclusions.** Modified silica stimulates the vital processes in yeast cells.

**Keywords:**  $^1\text{H}$  NMR spectroscopy, hydration, unfrozen water, yeast cells.

Т. В. Крупська, А. А. Турова, В. М. Гунько, В. В. Туров

Вплив високодисперсних матеріалів на фізіологічну активність дріжджових клітин

Резюме

**Мета.** Вивчити вплив на життєдіяльність дріжджових клітин *Saccharomyces cerevisiae* двох типів колоїдних частинок – мінеральних (модифікованих нанокремнеземів) і композитних (приготовлених на основі гідрогелів крохмалу та модифікованих нанокремнеземів). **Методи.** У модельній системі дріжджові клітини–нанокремнезем з використанням  $^1\text{H}$  ЯМР спектроскопії у поєднанні з методикою виморожування рідкої фази досліджено структури міжфазних шарів води. **Результати.** Встановлено, що високодисперсні матеріали істотно впливають на будову перехідних шарів води в дегідратованих клітинах. **Висновки.** Модифіковані кремнеземи стимулюють процеси життєдіяльності дріжджових клітин.

**Ключові слова:**  $^1\text{H}$ -ЯМР спектроскопія, гідративність, незамерзаюча вода, модифіковані кремнеземи, суспензії дріжджових клітин.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Medical chemistry and clinical use of silicon dioxide* / Ed. A. A. Chuiko.–Kyiv: Naukova dumka, 2003.–415 p.
2. *Kurdish I. K., Bichtunov V. L., Tsimberg E. A., Elchits S. V., Vigovskaya E. L., Chuiko A. A.* Effect of dispersed silicon dioxide – Aerosil A-300 on the growth of yeast *Saccharomyces cerevisiae* // *J. Microbiol.*–1991.–**53**, N 2.–P. 41–44.
3. *Kurdish I. K., Kigel N. F.* Effect of high-dispersed materials on physiological activity of metanotrophic bacteria's // *J. Microbiol.*–1997.–**59**, N 2.–P. 29–36.
4. *Zviyginzev D. G.* Soil and microorganisms.–Moscow: Moscow State Univ. press, 1987.–246 p.
5. *Turova A. A., Gun'ko V. M., Turov V. V., Gorbik P. P.* Influence of structural and chemical modification of silica on its

surface hydration // *Adsorb. Sci. and Technol.*–2007.–**25**, N 1–2.–P. 65–69.

6. *Klimova V. A.* Fundamental micromethods of analysis of organic compounds.–Moscow: Chemistry, 1975.–224 p.
7. *Microbiology Large workshop* / Ed. G. L. Selibera.–Moscow: Vysshaya shkola, 1962.–503 p.
8. *Microbiology workshop* Ed. N. S. Egorova.–Moscow: Moscow State Univ. press, 1976.–307 p.
9. *Teulor D., Green N., Staut U.* Biology.–Moscow: Mir, 2002.–Vol. 1.–436 p.
10. *Gun'ko V. M., Turanskaya S. P., Nechipor O. V., Ukchimenko E. V., Turov V. V., Chuiko O. O.* Weakly associated water in biological objects and at silica interfaces // *Chemistry, physics and technology of surface.*–Kyiv: Naukova dumka, 2006.–P. 397–430.
11. *Turov V. V., Gun'ko V. M., Bogatyrev V. M., Zarko V. I., Gorbik S. P., Pakhlov E. M., Leboda R., Shulga O. V., Chuiko A. A.* Structured water in partially dehydrated yeast cells and at partially hydrophobized fumed silica surface // *J. Coll. Interface Sci.*–2005.–**283**, N 2.–P. 329–343.
12. *Gun'ko V. M., Turov V. V., Bogatyrev V. M., Zarko V. I., Leboda R., Goncharuk E. V., Novza A. A., Turov A. V., Chuiko A. A.* Unusual properties of water at hydrophilic/hydrophobic interfaces // *Adv. Coll. Interface Sci.*–2005.–**118**, N 1.–P. 125–172.
13. *Gun'ko V. M., Zarko V. I., Turov V. V., Voronin E. F., Mironyuk I. F., Chuiko A. A.* Structural and adsorptive characteristics of fumed silicas in different media, in: colloidal silica: fundamentals and applications / Ed. H. E. Bergna.–Salisbury: Taylor & Francis LLC, 2005.–P. 499–530.
14. *Turov V. V., Gun'ko V. M., Zarko V. I., Leboda R., Jablonski M., Gorzelak M., Jagiello-Wojtowicz E.* Weakly and strongly associated nonfreezable water bound in bones // *Coll. and Surfaces.*–2006.–**48**, N 2.–P. 167–175.
15. *Turov V. V., Leboda R.* Application of H-1 NMR spectroscopy method for determination of characteristics of thin layers of water adsorbed on the surface of dispersed and porous adsorbents // *Adv. Coll. Interface Sci.*–1999.–**79**, N 2–3.–P. 173–211.
16. *Turov V. V., Novza A. A., Leboda R., Scubichevska-Zieba Y., Schesniy M., Turov K. V.* Bound water in starch hydrogels with highly dispersed silica // *Probl. Cryobiol.*–2005.–**15**, N 4.–P. 636–644.

УДК 541.183:582.282.23:577.3

Надійшла до редакції 20.05.08