

УДК 544.773+637.1

## ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕССЫ ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННОЙ ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ ВОДЫ В МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТАХ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЖИРА

Е.В. Гончарук<sup>1\*</sup>, В.И. Зарко<sup>1</sup>, Г.Е. Полищук<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт химии поверхности им. А.А. Чуйко Национальной академии наук Украины*

*ул. Генерала Наумова, 17, Киев, 03164, Украина*

<sup>2</sup> *Национальный университет пищевых технологий*

*ул. Владимирская, 68, Киев, 01033, Украина*

*Методом термостимулированной деполяризации исследовано влияние концентрации жировой фазы на проводимость и релаксационные процессы водных доменов в молоке, сливках и сливочном масле.*

### ВВЕДЕНИЕ

Молоко, сливки и сливочное масло являются сложными многокомпонентными системами, которые можно рассматривать как полидисперсные системы с регулируемым количеством молочного жира. Структура и свойства молока определяются совокупностью жировых, белковых и фосфолипидных компонентов, которые находятся в равновесном состоянии в природной стабильной эмульсии. В молоке содержится несколько влияющих друг на друга дисперсных систем с различными физико-химическими видами равновесий [1, 2]. Равновесные отношения между различными фазами определяют сложную структуру молока и ее чувствительность к физическим, химическим и биологическим воздействиям.

Основными структурообразующими факторами жиросодержащих молочных продуктов являются концентрация жира, величина жировых частиц и распределение их по размерам, содержание казеина и его состояние (гидратация и величина мицелл), состояние сывороточных белков, термомеханическая обработка молока (гомогенизация, нагревание) [1, 2]. Белки, входящие в состав молока, относятся к самым активным водосвязывающим компонентам многих биологических систем. Для сухого молока количество связанной с белками воды составляет 0.3–0.4 г на 1 г сухого белка.

Как известно, молочный жир содержится в цельном негомогенизированном молоке в виде жировых шариков со средним диаметром 0.5–10 мкм [1, 2]. Гидрофобные шарики жира стабилизированы фосфолипидно-белковым комплексом, составляющие которого имеют дифильную природу и активно взаимодействуют с диполями воды, образуя гидратную оболочку. Молекулы воды, входящие в гидратную оболочку, обычно называют «связанной водой», поскольку локальные взаимодействия на границе раздела фаз приводят к компенсирующим воздействиям на структуру воды, и изменение этой структуры может наблюдаться на расстоянии десятков нанометров от источника поверхностных сил [1, 5–8]. Помимо «связанной воды», в такой эмульсии будет содержаться и «свободная вода». Главное различие между ними заключается в размере и физических свойствах формируемых за счет водородных связей элементов структуры воды – кластеров и доменов [5–7]. Согласно данным, представленным в [7], в водных суспензиях существует несколько типов кластеров и нанодоменов воды. Наименьшие кластеры, которым соответствует  $R < 0.5$  нм, могут быть отнесены к структурам, включающим 4–6 молекул воды и локализованным между соседними первичными частицами в агрегатах. При увеличении количества молекул в кластере до нескольких десятков распределение этих кластеров по радиусу изменяется в пределах

\* контактный автор [iscgoncharuk@meta.ua](mailto:iscgoncharuk@meta.ua)

$0.5 < R < 1$  нм. Размеры водных структур при  $R \approx 1.5$  нм соответствуют нанодоменам молекул воды. Следовательно, кластером воды называют фрагмент структуры воды размером (диаметром) менее 3 нм, в то время как под доменом воды подразумевают фрагмент структуры размером более 3 нм [5, 7].

Поскольку релаксация кластеров и доменов воды, изучаемая методом термостимулированной деполяризации (ТСД) [3], является кооперативным процессом, исходящим с участием всех связанных водородными связями молекул воды в релаксирующем фрагменте, то пространственные ограничения релаксирующих дипольных структур приводят к зависимости характеристик релаксации от размеров этих структур. Чем меньше размер кластера или домена воды, тем ниже энергия активации релаксации и, соответственно, температура релаксационного максимума. Токи ТСД обусловлены переориентацией полярных фрагментов, связей, молекулярных диполей (воды) и свободных зарядов (протонов, ионов и электронов), замороженных в диапазоне 90–265 К при приложенном электростатическом поле напряженностью  $F_p \sim 10^1 - 10^4$  кВ/м. Приложенное поле вызывает активационную переориентацию диполей из их оптимальной средней ориентации, наблюдаемой без внешнего поля, и ведет к появлению пространственных зарядов. Снятие внешнего поля и нагревание замороженной системы приводит к релаксации связанных зарядов (дипольная релаксация) и появлению постоянного тока проводимости (*dc*-релаксации), обусловленного релаксацией подвижных зарядов, например, протонов или других ионов. Все деполяризационные процессы проявляются в ТСД-спектрах в виде кривых с характерными экстремумами при разных температурах, которые называются релаксационными максимумами и соответствуют релаксации водных доменов с разной энергией активации деполяризации. В свою очередь энергия активации деполяризации будет тем ниже, чем меньше размер кластера или домена воды (льда).

Строение доменов воды в водных дисперсиях или водных эмульсиях зависит от многих факторов, основными из которых являются концентрация наполнителя водной среды, дисперсность частиц наполнителя и природа их поверхности, растворимость частиц

наполнителя в воде, характер взаимодействия частиц друг с другом и с водной средой. Воздействие всех этих факторов на воду будет как изменять соотношение между «свободной» и «связанной» водой, так и структурировать саму систему, видоизменяя распределение доменов воды по размерам. Увеличение общей поверхности жировых шариков с присоединенными к ней белковыми молекулами должно приводить и к изменению морфологии водных доменов. Одним из безусловных критериев «свободной» воды будет значение статической диэлектрической постоянной  $\epsilon_s$ , которая для таких кластеров изменяется в пределах  $90 > \epsilon_s \geq 50$  [4]. Таким образом физико-химические свойства «свободной» воды близки к свойствам объемной воды [5]. В свою очередь, к «связанной» воде можно отнести домены молекул воды, расположенные на границе раздела фаз и взаимодействующие с поверхностью дисперсных частиц.

Поэтому целью данной работы было исследование релаксации доменов воды в молоке, сливках и сливочном масле при различных концентрациях жировой фазы.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для работы были выбраны молоко производства ООО «Люстдорф» (Украина) «На здоровье» с содержанием жира 0.5 и 2.5 %, сливки производства объединенной компании «Danone-Юнимилк» (Россия) «Петмол» с содержанием жира 22 % и «Простоквашино» с содержанием жира 10 %, подвергшиеся стандартной обработке (гомогенизация и пастеризация), а также сливочное масло производства Яготинского маслозавода (Украина) «Яготинское сливочное» жирностью 69 мас. %.

ТСД-спектры получали на приборе производства СКБ (г. Ангарск, Россия) в диапазоне температур 90–265 К. При этом термостимулированная деполяризация происходила при нагреве короткозамкнутого образца, который предварительно возбуждался (поляризовался) электростатическим полем. Ток короткого замыкания во внешнем круге обусловлен как током проводимости, так и током смещения, причем ток проводимости вызывается действием внутреннего неоднородного электрического поля. Таблетки (диаметр 30 мм, толщина 1 мм) с

замороженным исследуемым образцом были поляризованы при 265 К и охлаждены до 90 К в электростатическом поле при  $F \sim (2-5) \times 10^5$  В/м. Затем поле снималось, а образцы нагревались с постоянной скоростью  $h = 0.05$  К/с. Ошибка составляла для температуры  $\delta_T = \pm 2$  К, для тока  $\delta_I = \pm 5\%$  и для скорости  $\delta_h = \pm 5\%$ . Ток, обусловленный деполяризацией образца, регистрировался высокоомным цифровым вольтметром В7-30 в диапазоне  $10^{-14} - 10^{-7}$  А [6].

Энергия активации протонной проводимости ( $E_a$ ) для исследованных систем была рассчитана по методу Гарлика-Гибсона [4], согласно которому восходящий участок кривой ТСД тока для *dc*-релаксации описывается уравнением Аррениуса

$$I(T) \approx I_0 e^{-E_a/RT}, \quad (1)$$

где  $I(T)$  – плотность ТСД тока при температуре  $T$ ,  $I_0$  – предэкспоненциальный множитель.

Угол наклона кривой, построенной в координатах  $\ln I$  от  $1/T$ , позволяет рассчитать энергию активации, обусловленной релаксацией подвижных зарядов (протонов).

Разложение ТСД-спектров молока, сливок и сливочного масла на составляющие по функции Гаусса выполнено по программе Peakfit Origin 7.0. На рисунках ТСД-спектров точки соответствуют полученным экспериментально значениям тока деполяризации, тонкие кривые показывают отдельные пики релаксации, а жирная кривая является результирующей всех полученных при разложении с помощью программы Peakfit индивидуальных пиков. Степень корреляции экспериментальных данных и математически разложенных кривых во всех случаях была в пределах 0.96–0.99.

Согласно [7], температура начала *dc*-релаксации (200–220 К) для суспензий наноксидов согласуется с  $^1\text{H}$  ЯМР данными, относящимися к появлению подвижных молекул воды в водных суспензиях пирогенных оксидов. Следовательно, механизм *dc*-релаксации соответствует протонной проводимости.

Релаксация при более низких температурах (меньше 200 К) связана с переориентацией молекул воды, ассоциированных в структуры различных размеров вследствие их локализации между первичными частицами, а

сами эти структуры характеризуются широким распределением по размерам.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

ТСД-спектры водных систем, содержащих различные включения (органической или неорганической природы), обычно характеризуются несколькими релаксационными процессами, которые в ТСД-спектрах проявляются в виде релаксационных максимумов на зависимостях

$$I = f(T), \quad (2)$$

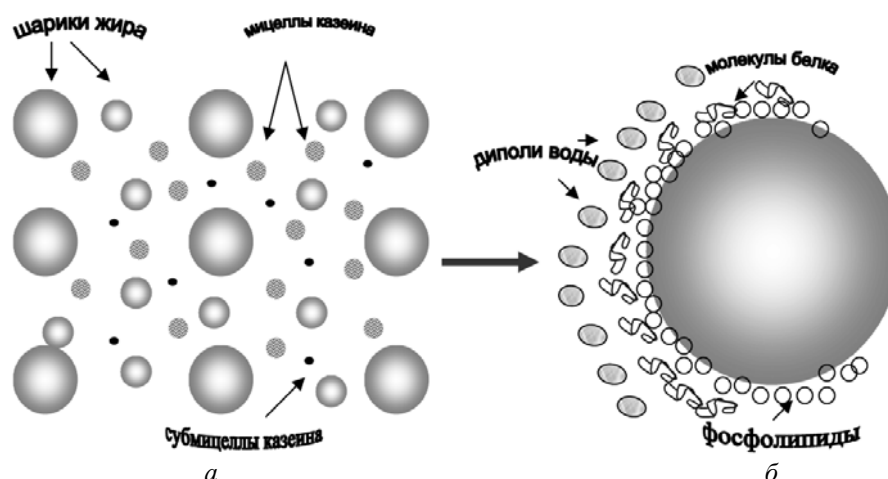
где  $I$  – ток деполяризации молекул и доменов воды, а  $T$  – температура в К.

Энергия активации деполяризации ( $E_a$ ) для доменов «связанной» воды (10–20 кДж/моль) обычно ниже, чем для доменов «свободной» воды (30–50 кДж/моль) вследствие того, что вблизи поверхности размеры доменов воды меньше, чем в объеме, а также вследствие взаимодействия молекул воды с поверхностью [6–9]. Уменьшение размеров доменов воды (количества молекул воды в домене) приводит к сдвигу температуры максимума деполяризации (релаксации) для этих кластеров в область более низких температур (обычно  $\leq 160$  К). Для идентификации релаксации молекул «связанной» воды исследуют зависимость релаксационного отклика (в нашем случае – деполяризации) от концентрации ( $C$ ) наполнителя (т.е. при изменении величины поверхности раздела фаз) в дисперсной системе. Большие по размерам домены воды (к ним следует относить домены воды с числом молекул  $> 1000$ ) релаксируют в высокотемпературной (ВТ) области спектра ( $180 < T < 250$ ) [6–9].

Процесс получения питьевого молока и сливок с разной концентрацией жировой фазы сопровождается одно- или двухступенчатой гомогенизацией [2, 10]. В результате шарики жира уменьшаются в размерах до 0.5–3 мкм и равномерно распределяются в объеме (рис. 1 а). Кроме того, их фосфолипидно-белковая оболочка восстанавливается до полного покрытия поверхности жировых шариков слоем фосфолипидов, основным компонентом которого является лецитин, и белковых молекул, гидрофильные группы которых взаимодействуют с молекулами воды, образуя гидратную оболочку (рис. 1 б).

Таким образом, основными структурными факторами, влияющими на релаксационные свойства воды, будут размеры доменов воды, зависящие в свою очередь от размеров жировых шариков (0.5–3 мкм), мицелл казеина (средний

размер 0.1 мкм) и их распределения в объеме, а также структуры и площади поверхности раздела фаз, на которой формируются домены воды, связанные с белковыми макромолекулами.



**Рис. 1.** Схема строения молока и сливок как свободной дисперсии с равномерным распределением шариков жира в объеме (а) и границы раздела фаз со стабилизирующим слоем белков на поверхности жировых шариков и их взаимодействием с диполями воды (б)

На рис. 2 представлены ТСД-спектры молока, сливок и сливочного масла в порядке увеличения их жирности. Для всех исследованных образцов молока и сливок в низкотемпературной (НТ) области ТСД-спектра наблюдаются три характерных релаксационных максимума, которым соответствуют пики при определенных температурах, обозначенных соответственно Т1, Т2 и Т3. В результате разложения ВТ области ТСД-спектра по функции Гаусса для этих образцов наблюдается два характерных максимума, обозначенные Т4 и Т5. Температуры, соответствующие релаксационным максимумам в НТ области, для всех исследованных образцов молока и сливок остаются практически неизменными и варьируются в узких пределах ( $\pm 5$  К) (рис. 2 а, в, д, ж). В то же время в ВТ области температуры, соответствующие пикам релаксации, смещаются в сторону меньших температур при увеличении содержания жировой фазы в системе (рис. 2 б, г, е, з). Для сливочного масла количество наблюдаемых релаксационных максимумов меньше, чем для молока и сливок: в НТ области наблюдаются два пика с температурами Т1 и Т2 (рис. 2 и), а в ВТ области – только один пик (рис. 2 к).

Температура максимума таких пиков релаксации косвенно характеризует энергию активации релаксации: при меньшей энергии активации релаксация происходит при более низких температурах, в то время как интегральная интенсивность характерных пиков позволяет оценить количество кластеров и доменов воды с соответствующими энергетическими характеристиками.

Соответствие релаксационных максимумов характерным температурам пиков и их четкое разделение для всех образцов молока и сливок в НТ области может свидетельствовать о том, что в натуральных молочных продуктах размерам релаксирующих доменов воды (льда) присуще дискретное, а не непрерывное распределение по размерам. Это указывает на существование в исследуемых эмульсиях пространственной структуры, определяющей дискретные размеры доменов воды.

Сохранение характерных температур максимумов релаксации Т1, Т2 и Т3 в НТ области при увеличении концентрации жировой фазы в молочных продуктах свидетельствует о неизменности энергии активации релаксации, т.е. идентичных энергетических характеристиках доменов воды в молоке и сливках.

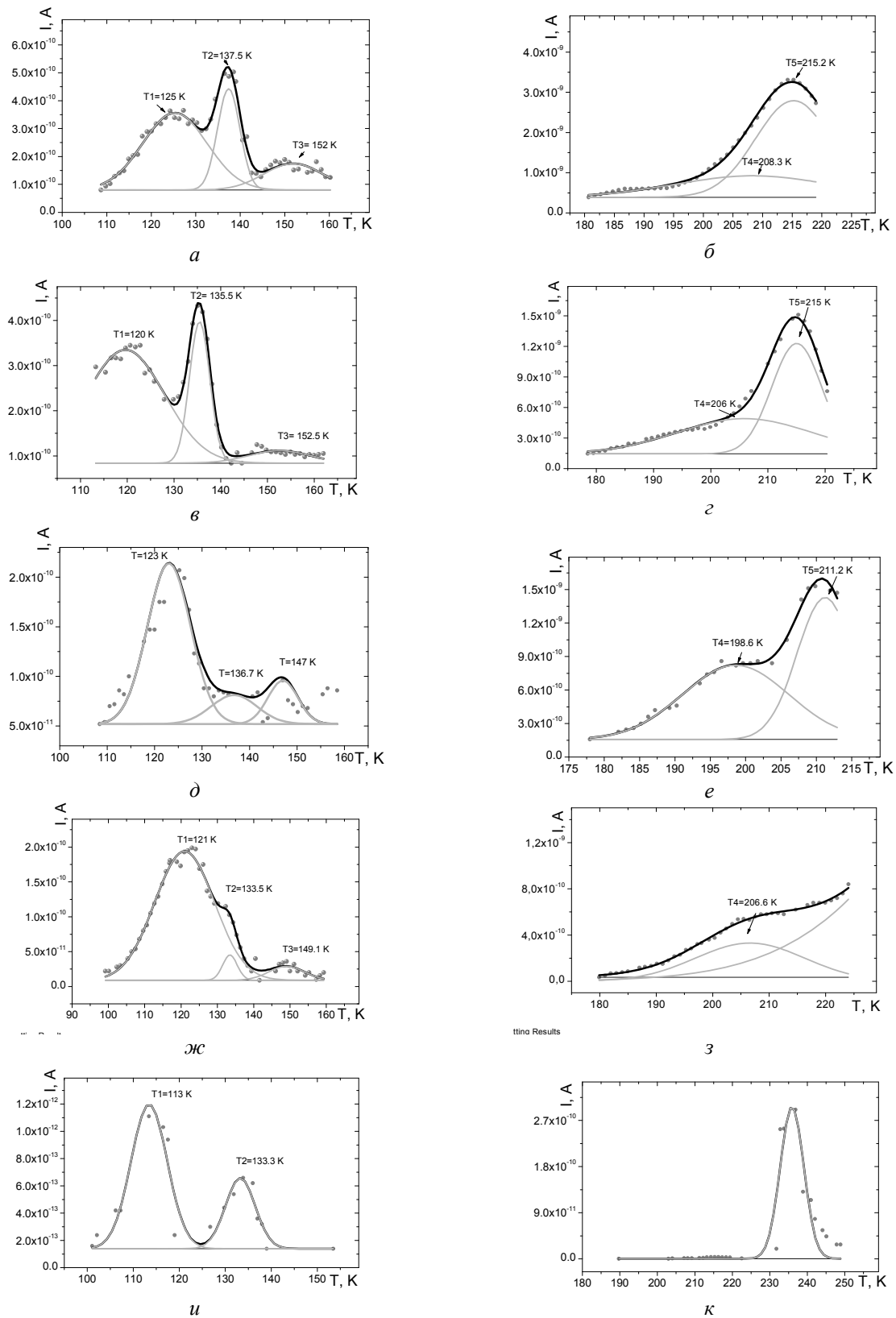


Рис. 2. ТСД-спектры молока, сливок и сливочного масла жирностью: а, б – 0.5 мас. %; в, з – 2.5 мас. %; д, е – 10 мас. %; ж, з – 22 мас. %; и, к – сливочное масло жирностью 69 мас. %

Как можно видеть из рис. 3, интенсивность тока релаксации в ВТ области заметно снижается с ростом концентрации жировой фазы, и для сливок жирностью 22 мас. % практически исчезает высокотемпературный пик.

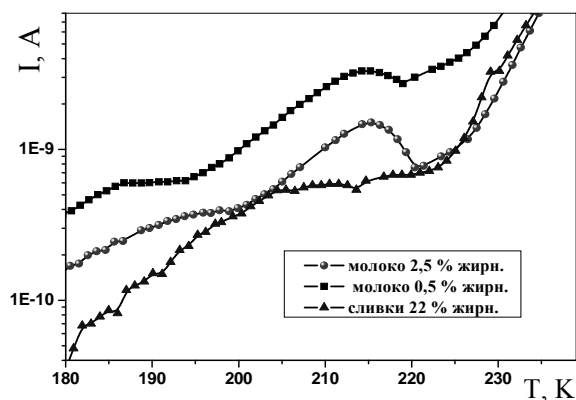


Рис. 3. Высокотемпературные участки ТСД-спектров молока и сливок

Были рассчитаны интегральные интенсивности для каждого характерного пика, наблюдаемого в ТСД-спектрах, приведенных на рис. 2; результаты расчетов приведены на рис. 4.

Интегральные интенсивности каждого пика как в НТ области ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ), так и в ВТ области ( $T_4$ ,  $T_5$ ) уменьшаются с увеличением концентрации жировой фазы (рис. 4 а, в). При этом изменяется соотношение как между интегральными интенсивностями отдельных пиков  $T_1$ - $T_3$ , наблюдаемых в НТ области (рис. 4 б), так и  $T_4$ - $T_5$ , наблюдаемых в ВТ области (рис. 4 г).

Уменьшение общей интегральной интенсивности ТСД-спектра при увеличении концентрации жировой фазы в исследованных молочных продуктах указывает на уменьшение общего количества релаксирующих доменов воды всех размеров.

С увеличением концентрации жировой фазы наблюдается уменьшение интегральной интенсивности для всех трех пиков в НТ области (рис. 4 а), однако относительный вклад интенсивности каждого пика в общую интегральную интенсивность ТСД-спектра в НТ области изменяется с увеличением концентрации жировой фазы по-разному. Так, вклад пика  $T_1$  (рис. 4 б, кривая для  $T_1$ ), характеризующего релаксацию доменов воды с наименьшей энергией активации,

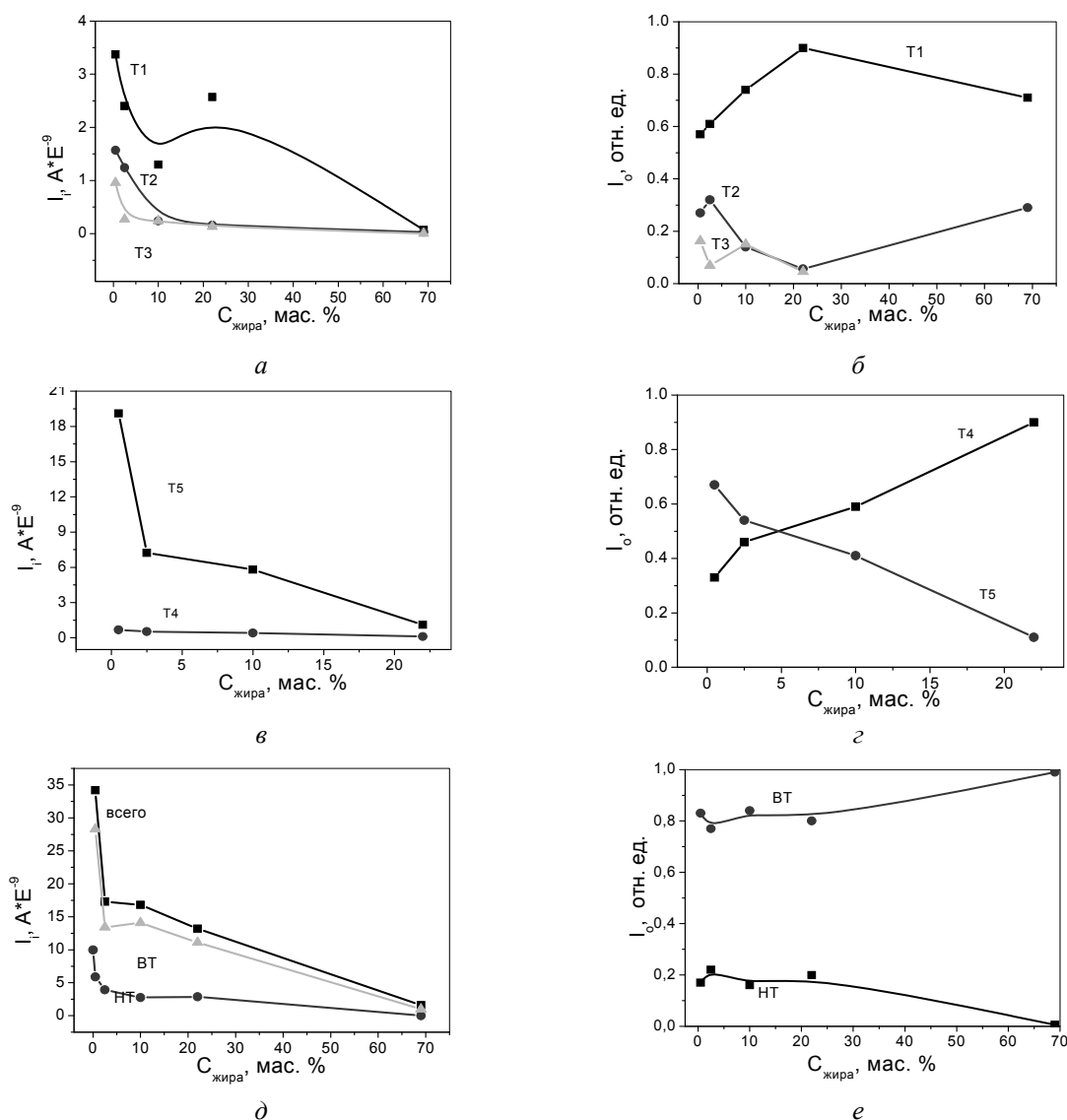
увеличивается с увеличением концентрации жировой фазы. Наименьшая энергия активации релаксации свойственна доменам воды небольших размеров и, кроме того, находящимся под действием внешних связывающих сил, что может быть характерно для диполей воды, связанных с гидрофильными группами оболочки жировых шариков на границе раздела фаз (рис. 1 б). В этом случае уменьшение относительного вклада пика  $T_1$  в интегральную интенсивность для сливочного масла выглядит логичным, так как площадь границы раздела фаз «вода в масле» для такой системы наименьшая благодаря наибольшей плотности сетки жировых шариков. Относительная интенсивность пика  $T_2$  в молоке в 2-6 раз выше, чем в сливках (рис. 4 б, кривая для  $T_2$ ), что указывает на четкое различие в кластерообразовании молекул воды в молоке и сливках.

Увеличение концентрации жировой фазы до 22 мас. % приводит также к постепенному снижению интегральной интенсивности релаксационных процессов в ВТ области температур (рис. 4 в), однако изменения относительных вкладов интенсивностей для пиков  $T_4$  и  $T_5$  в общую интегральную интенсивность ВТ части ТСД-спектра носят антибатный характер (рис. 4 г), что указывает на их зависимость от концентрации жировой фазы в молочном продукте. Это может быть связано с резким уменьшением количества релаксирующих больших доменов воды за счет их пространственного ограничения жировыми шариками при увеличении концентрации последних в системе. В ТСД-спектрах наблюдается более резкое падение интегральной интенсивности для пика  $T_5$  (рис. 4 а), чем для пика  $T_4$  (рис. 4 в), в результате чего вклад пика  $T_4$  в общую интегральную интенсивность в ВТ области возрастает.

При переходе от эмульсии первого рода «масло в воде» к эмульсии второго рода «вода в масле» в ТСД-спектре исчезает пик  $T_3$ , а интенсивность пиков  $T_1$  и  $T_2$  уменьшается практически на два порядка (рис. 2 и, 4 а). Из этого следует, что и для доменов воды в масле сохраняются «стандартные» дискретные размеры, задающиеся распределением жировых шариков в пространстве, но количество таких доменов воды приблизительно на два порядка меньше, чем в молоке или сливках. Кроме того четкий

перегиб между пиками Т1 и Т2 на ТСД-спектре масла (рис. 2 *и*) показывает, что домены воды в

эмульсии «вода в масле» хорошо изолированы друг от друга жировой фазой.



**Рис. 4.** Зависимости интегральной интенсивности пиков (*а, в*); относительного вклада в общую интегральную интенсивность НТ (*б*) и ВТ (*з*) областей для каждого пика; интегральные интенсивности НТ и ВТ областей (*д*) и их вклад в общую интегральную интенсивность (*е*)

Согласно ранее приведенной модели (рис. 1), диаметр жировых шариков в системах с разным количеством жировой фазы колеблется в пределах 0.5–3 мкм и они равномерно распределены в объеме системы. Следовательно, увеличение межфазной границы молочный жир/вода и степени заполнения системы жировыми шариками при увеличении концентрации жира в системе приводит к образованию такой их структуры в воде, которая пространственно ограничивает

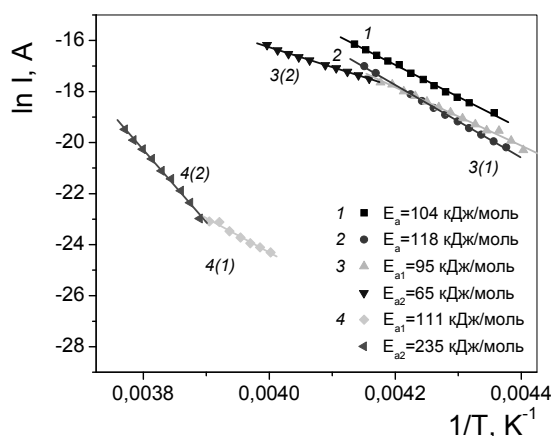
образующиеся большие домены воды и приводит к уменьшению количества таких доменов.

Сопоставление интегральных интенсивностей НТ и ВТ областей (рис. 4 *д, е*) позволяет утверждать, что в основном релаксационные процессы в молочных жиросодержащих продуктах определены значительными по размеру доменами воды, поскольку интегральная интенсивность ВТ области спектра, которой отвечает

релаксация доменов воды с высокой энергией активации, гораздо выше, чем интегральная интенсивность НТ области спектра, в которой релаксируют домены с более низкой энергией активации релаксации (рис. 4 *d, e*).

Повышение концентрации жировой фазы в системе приводит к общему снижению количества релаксирующих доменов воды всех размеров, что выражается в снижении интегральной интенсивности всего ТСД-спектра как в НТ, так и в ВТ областях (рис. 4 *d*). При этом относительный вклад низкотемпературной области остается постоянным как для молока, так и для сливок и составляет  $\approx 20\%$ , а высокотемпературной, соответственно,  $\approx 80\%$ , что соответствует характеристикам свобододисперсной коллоидной системы (рис. 4 *e*).

Протонная проводимость  $\sigma(E_a)$  в жиросодержащих молочных продуктах обусловлена проводимостью по границе контактирующих между собой доменов воды. При повышении концентрации жира в системе, т.е. уменьшении количества больших доменов воды и увеличении площади межфазной границы величина  $\sigma(E_a)$  падает (рис. 5, кривая 3). При переходе к эмульсии «вода в масле», когда домены воды изолированы друг от друга, а площадь межфазной границы значительно увеличивается, протонная проводимость начинает наблюдаться при более высоких температурах (рис. 5, кривая 4), а ее величина возрастает в два раза.



**Рис. 5.** Зависимость  $\ln I$  от  $1/T$  для молочных продуктов с содержанием жира: 1 – 0.5 мас. %; 2 – 2.5 мас. %; 3 – 22 мас. %; 4 – 69 мас. %

## ВЫВОДЫ

В таких свобододисперсных системах как молоко и сливки увеличение концентрации жировой фазы приводит к закономерному уменьшению количества всех релаксирующих доменов воды, но их энергетические характеристики практически не изменяются с изменением концентрации жировой фазы вплоть до 22 мас. % включительно. Даже при высоком содержании жировой фазы она остается свобододисперсной, т.е. жировые шарики не агрегируют и не образуют пространственных структур, что позволяет воде формировать домены практически стабильных дискретных размеров с близкими энергетическими характеристиками независимо от содержания жира в системе. Основной вклад в релаксационные процессы вносит высокотемпературная область (80 %), для которой характерны высокие энергии активации релаксации. Следовательно, вода в молоке и сливках формирует большие по размерам домены, в то время как вклад малых доменов воды, сформированных на границе раздела фаз, в релаксационные процессы не превышает 20 %. Домены воды в масле имеют те же размеры, что и в молоке или сливках, но их количество значительно меньше и они изолированы друг от друга жировой фазой.

Проведенные исследования также показали, что изучение релаксационных свойств воды в пищевых эмульсиях методом ТСД позволяют получить не только качественную, но и количественную информацию о структуре дисперсионной среды как в объеме, так и на границе раздела фаз. Вследствие определяющего влияния границы раздела фаз на свойства дисперсных систем и физико-химической взаимосвязи структурных элементов эмульсии использованный подход применим для оценки структуры и качества пищевых эмульсий в целом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Тенел А.* Химия и физика молока. – Москва: Пищевая промышленность, 1979. – 623 с.
2. *Горбатова К.К.* Химия и физика молока. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2004. – 280 с.
3. *Гороховатский Ю.А.* Основы термодеполяриционного анализа. – Москва: Наука, 1981. – 176 с.



4. Зацепина Г.Н. Структура и свойства воды. – Москва: Изд. МГУ, 1974. – 167 с.
5. Chaplin M. Water Structure and Science; <http://www.lsbu.ac.uk/water/>. 4 August, 2012.
6. Gun'ko V.M., Zarko V.I., Goncharuk E.V. et al. TSDC spectroscopy of relaxational and interfacial phenomena // Adv. Colloid. Int. Sci. – 2007. – V. 131, N 1–2. – P. 1–89.
7. Гунько В.М., Туров В.В., Горбик П.П. Вода на межфазной границе. – Киев: Наук. думка, 2009. – 694 с.
8. Vogler A. Structure and reactivity of water at biomaterial surfaces // Adv. Colloid. Int. Sci. – 1998. – V. 74, N 1–3. – P. 69–117.
9. Андрийко Л.С., Зарко В.И., Гончарук О.В., Гунько В.М. Протонная проводимость и релаксационные процессы в системе пирогенный алюмокремнезем–вода // Хімія, фізика та технологія поверхні. – 2012. – Т. 3, N 3. – С. 283–290.
10. Крись Г.Н., Храмцов А.Г., Волокитина З.В., Карпычев С.В. Технология молока и молочных продуктов. Под ред. А.М. Шалыгиной. – Москва: Колос, 2006. – 454 с.

Поступила 24.12.2012, принята 14.05.2013

### **Вплив структурних факторів на процеси релаксації води в молочних продуктах з різним вмістом жиру**

**О.В. Гончарук, В.И. Зарко, Г.Е. Полищук**

*Институт хімії поверхні ім. О.О. Чуйка Національної академії наук України  
вул. Генерала Наумова, 17, Київ, 03164, Україна, [iscgoncharuk@meta.ua](mailto:iscgoncharuk@meta.ua)  
Національний університет харчових технологій  
вул. Володимирська, 68, Київ, 01033, Україна*

*Методом термостимульованої деполяризації досліджено вплив концентрації жирової фази на провідність та релаксаційні процеси водних доменів в молоці, вершках і вершковому маслі.*

### **The influence of structural factors on the relaxation of water in dairy products with various fat contents**

**O.V. Goncharuk, V.I. Zarko, G.E. Polischuk**

*Chuiiko Institute of Surface Chemistry of National Academy of Sciences of Ukraine  
17 General Naumov Str., Kyiv, 03164, Ukraine, [iscgoncharuk@meta.ua](mailto:iscgoncharuk@meta.ua)  
National University of Food Technology  
68 Volodymyrs'ka Str., Kyiv, 01033, Ukraine*

*The influence of oil phase concentration on the conductivity and relaxation processes of water domains in the milk, cream, and butter has been investigated by thermally stimulated depolarization.*