

УДК 544.777

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ БИОАКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ПРОЦЕСС САМООРГАНИЗАЦИИ В ВОДНОМ ЦИСТЕИН-СЕРЕБРЯНОМ РАСТВОРЕ

Я.В. Андрианова, С.Ю. Золотухина, С.Д. Хижняк, П.М. Пахомов

Тверской государственный университет  
Кафедра физической химии

Синтезированы гели на основе низкоконцентрированных водных растворов L-цистеина, нитрата серебра с использованием различных биоактивных электролитов – инициаторов гелеобразования. Методами динамического светорассеяния (ДСР) и УФ-спектроскопии исследован процесс самоорганизации в рассматриваемых системах.

**Ключевые слова:** *низкоконцентрированные водные растворы, L-цистеин, нитрат серебра, биоактивные электролиты, процесс самоорганизации, тиксотропные гидрогели.*

Изучение гелей и процессов гелеобразования представляет сегодня значительный интерес, как для прикладных, так и фундаментальных наук, что обусловлено широким спектром применения гелей в быту, медицине, спорте и фармацевтической промышленности. Особый интерес представляют гидрогели, полученные на основе биоактивных веществ при низком содержании дисперсной фазы (~0,01 М) в растворе [1]. Так, например, гель, полученный в данной работе при смешении водных растворов L-цистеина и нитрата серебра, обладал супрамолекулярным строением и являлся тиксотропной системой.

Данные гидрогели могут быть перспективной основой для разработки новых фармацевтических препаратов, так как в их состав входят компоненты, обладающие биоактивными свойствами. В качестве инициаторов гелеобразования при этом часто используются хлориды и сульфаты металлов, обладающие полезными медицинскими свойствами и оказывающие положительное воздействие на человеческий организм. Хлорид магния, например, активирует более 350 биологических реакций, необходимых для нормального функционирования человека; хлорид натрия применяется в медицине (физиологический раствор), никель активирует фермент аргиназу и влияет на окислительные процессы, кобальт участвует в обменных процессах [2]. Сульфаты металлов в большом количестве содержатся во внутриклеточном пространстве [3], входят в состав многих биологически активных веществ. В плазме крови неорганических сульфатов содержится 0,3-1,5 ммоль/л. Они необходимы для обезвреживания токсических соединений в печени. Все используемые в работе металлы играют немаловажную роль в организме человека. Так, магний и калий, являются основными внутриклеточными ка-

тионами, так как их концентрация в клетках значительно выше, чем во внеклеточной среде, способствуют синтезу белков, необходимы для поддержания состояния клеточных мембран, входят в состав многих ферментов и коферментов, их суточная потребность 10–15 ммоль; медь содержится в печени, селезенке, играет важную роль в процессах усвоения железа организмом, синтеза гемоглобина, входит в состав ряда ферментов и пигментов, её суточная потребность – 30–80 мкмоль [4].

Цель данной работы состоит в изучение процессов самоорганизации и гелеобразования в цистеин-серебряном растворе (ЦСР) под воздействием сульфатов и хлоридов металлов методами ДСР и УФ спектроскопии.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе использовался нитрат серебра марки «чда» и L-цистеин марки «ч» «Acros», хлориды и сульфаты биоактивных металлов:  $\text{Ni}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Co}^{+2}$ . При получении ЦСР готовили низкоконцентрированные водные растворы нитрата серебра и L-цистеина в определенном молярном соотношении. Затем в установленной последовательности при определенной концентрации (0,03 М) смешивали полученные растворы. После чего раствор приобретал мутно-голубую окраску, что свидетельствовало о замещении атома водорода в тиольной группировке L-цистеина на атом серебра с образованием молекулы меркаптида серебра (МС) [1]. В случае определенного избытка ионов серебра над содержанием L-цистеина (1 мл L-цистеин/1,28 мл  $\text{AgNO}_3$ ) МС в осадок не выпадал, а раствор, находящийся в темном месте при комнатной температуре, на время от 4 до 8 часов приобретал желтоватую окраску и становился прозрачным (процесс созревания ЦСР). В процессе созревания ЦСР происходило формирование фрактальных кластеров из молекул МС. Только после созревания ЦСР возможно внесение в систему электролита-инициатора процесса гелеобразования. Для получения геля в созревший ЦСР вводили водный раствор инициатора при его содержании от 0,005 до 0,6 мл. От количества электролита, вводимого в систему ЦСР, зависит прочность будущего гидрогеля. При определенных количественных соотношениях компонентов вязкость раствора со временем возрастала, и он превращался в прозрачный гель, обладающий тиксотропными свойствами.

## Результаты и их обсуждение

### Самоорганизация ЦСР в процессе его созревания

С помощью метода ДСР (рис. 1.) исследована кинетика самоорганизации растворенных веществ в ЦСР при комнатной температуре в начальный момент смешения исходных компонентов (0–30 мин). На данном рисунке представлены результаты процесса созревания ЦСР, разбавленного дистиллированной водой в 3 раза. Разбавление было необходимо для определения наименьшей концентрации исходных растворов, при которой возможно созревание ЦСР. Рис. 1,а демонстрирует, что при сливании растворов

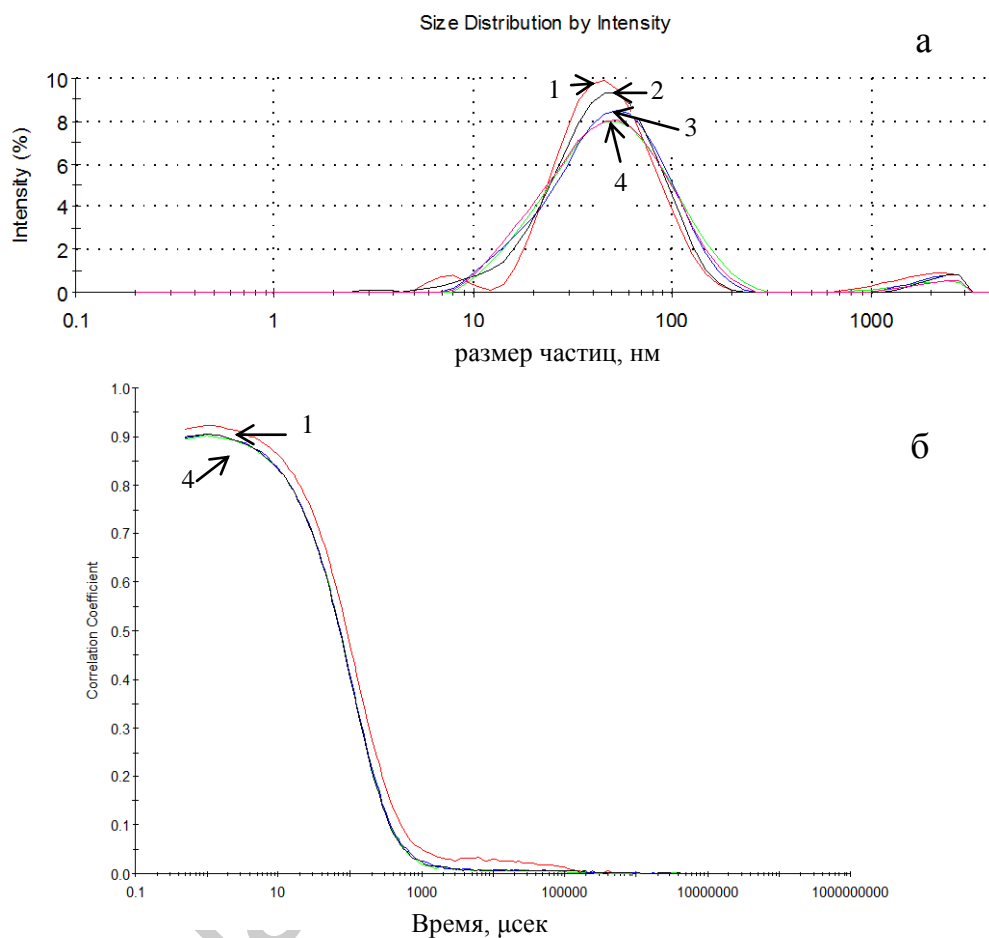


Рис. 1. а – Распределение частиц по размерам в начальный момент созревания ЦСР, разбавленного дистиллированной водой в 3 раза;  $C_{\text{cys}}$  и  $C_{\text{AgNO}_3}$  – 0,03 моль/л, соотношение L-цист/AgNO<sub>3</sub>=1/1.28,  $t=25^\circ\text{C}$ ; б – изменение коэффициента корреляции для начального момента процесса созревания ЦСР: 1– 0, 2– 10, 3– 20 и 4– 30 мин

сразу же образуются кластеры размером около 40 нм. Далее со временем средний размер кластеров несколько подрастает (до ~50 нм).

При сравнении коррелограмм на рис. 1 б для разных распределений в начальный момент смешения растворов легко заметить, что для первой кривой, характерной для начального состояния, коэффициент корреляции равен ~0,92, а «подножие» кривой неровное, что свидетельствует о рыхлой неорганизованной структуре кластеров в растворе. Затем в течение 30 мин коэффициент корреляции понизился и стал равен ~0,9, кривые стали более ровными и накладываются друг на друга (кривая 4), что характеризует завершение процесса формирования кластеров с размером ~40 нм. Кроме того, на рис. 1 наблюдается незначительное число кластеров с размерами до ~1180 нм. Наличие этих больших кластеров может свидетельствовать о начале формирования пространственной гелевой сетки в ЦСР. Итак, с помощью метода ДСР нам удалось установить, что на начальном этапе созревания ЦСР в нем происходит преимущественно формирование кластеров, которые, как показано в работах [1; 5], состоят из олигомерных супрамолекулярных цепей МС.

Представляет интерес изучение процесса самоорганизации ЦСР в начальный момент смешения для неразбавленного раствора и в зависимости от степени разбавления раствора. Кинетику процесса самоорганизации ЦСР при комнатной температуре для неразбавленного раствора характеризует рис. 2,а. Изначально при смешении исходных компонентов (кривая 1) образуется мутный раствор, для которого имеется 1 мода (пик), соответствующая размеру частиц ~ 50 нм. Однако со временем происходит формирование нескольких пиков различной интенсивности, соответствующих размеру частиц ~15, 40, 400 и 1200 нм, и их исчезновение. Но основной и самый интенсивный пик, соответствующий ~40 нм, сохраняется. Из-за динамики кластеры могут частично разрушаться и перегруппировываться, что должно отражаться на изменении их размеров.

На рис. 2,б-г представлено распределение частиц по размерам в зависимости от степени разбавления ЦСР тридистиллированной водой. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что при разбавлении в 3 раза параметры системы ЦСР существенно не изменились, о чём свидетельствует незначительное изменение интенсивности пика 2 на рис. 2,б. При разбавлении системы в 6 раз (рис. 2,в),  $C_{Cys} = 5 \cdot 10^{-3}$  мМ,  $C_{AgNO_3} = 6,25 \cdot 10^{-3}$  мМ, средний размер основного кластера уменьшился до ~30 нм, несмотря на это, система способна к образованию гидрогеля. При разбавлении ЦСР в 12 раз (рис. 2,г) происходит размытие основного пика и появление пика с размером ~8 нм. Процесс гелеобразования в этом случае уже невозможен.

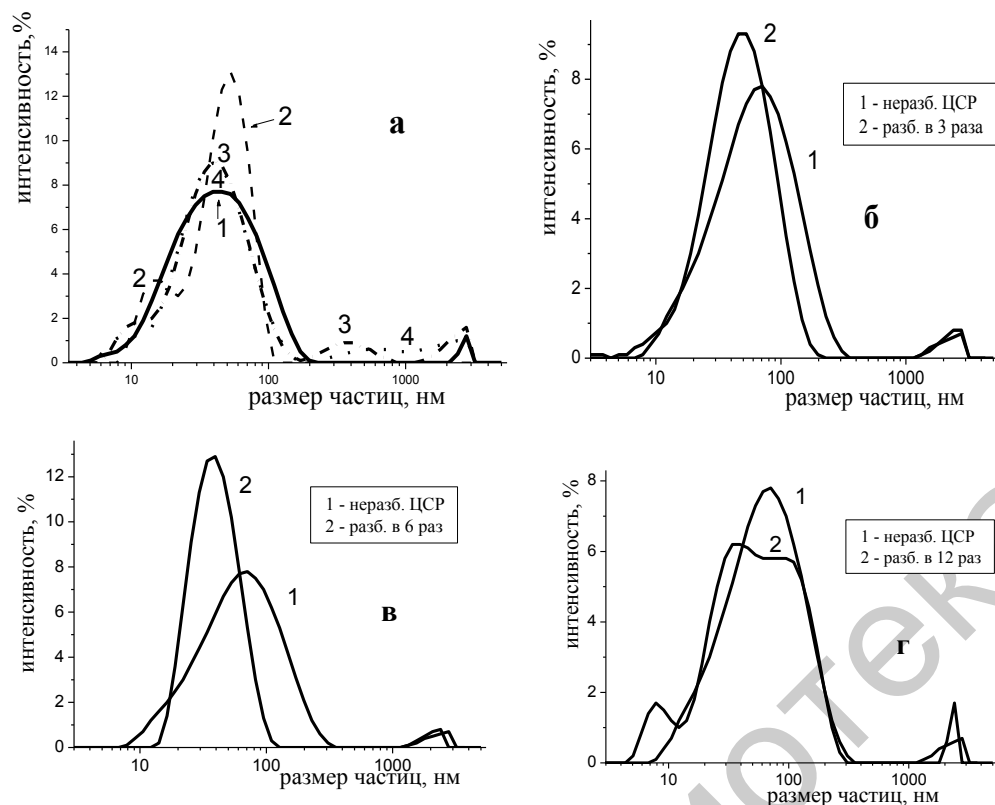


Рис. 2. Распределение частиц по размерам в процессе созревания ЦСР соотнош. 1 мл(цис)/1.28(AgNO<sub>3</sub>), t=25°C: а – неразбавленный ЦСР (1– 0 мин; 2– 12 мин; 3– 17 мин; 4– 25 мин, б –разбавленный в 3 раза (25 мин), в – в 6 раз (23 мин), г – в 12 раз (25 мин)

Данные, полученные методом ДСР, хорошо коррелируют с результатами метода УФ-спектроскопии (рис. 3). В ходе исследования процесса самоорганизации в ЦСР с помощью метода УФ-спектроскопии ранее было установлено [6], что при смешении водных растворов исходных компонентов (L-цистеина и нитрата серебра) происходит рост полос поглощения при 310 и 390 нм, которые характеризуют образование фрактальных кластеров с близко расположенными ионами и атомами серебра. Фрактальные кластеры, в свою очередь, образуются из олигомерных цепочек молекул МС [5–6]. На рис. 3 представлены УФ спектры ЦСР в зависимости от степени разбавления раствора водой и времени его созревания. Концентрация исходных компонентов в ЦСР соответственно равна:  $C_{\text{Cys}} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ mM}$ ,  $C_{\text{AgNO}_3} = 3.75 \cdot 10^{-2} \text{ mM}$ , толщина слоя  $d=1 \text{ мм}$ . При разбавлении исходного ЦСР концентрация изменяется следующим образом: (рис. 3,б) при разбавлении в 6 раз:  $C_{\text{Cys}} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mM}$ ,  $C_{\text{AgNO}_3} = 6,25 \cdot 10^{-3} \text{ mM}$ , в) в 10 раз:  $C_{\text{Cys}} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ mM}$ ,  $C_{\text{AgNO}_3} = 3,75 \cdot 10^{-3} \text{ mM}$ , г) в 20 раз:  $C_{\text{Cys}} = 0,75 \cdot 10^{-3} \text{ mM}$ ,  $C_{\text{AgNO}_3} = 1,875 \cdot 10^{-3} \text{ mM}$ .

В результате проведённых экспериментов было установлено, что с ростом времени созревания ЦСР во всех случаях происходит симбатный рост интенсивности полос поглощения 310 и 390 нм. Единственное отличие заключается в том, что полоса поглощения 310 нм имеет большую оптическую плотность, чем полоса 390 нм. Таким образом, полосу 310 нм предпочтительней использовать для анализа процесса самоорганизации в ЦСР. Следует также отметить, что при разбавлении ЦСР в 20 раз наблюдается едва заметный рост полосы 310 нм при больших временах созревания (рис. 3,г).

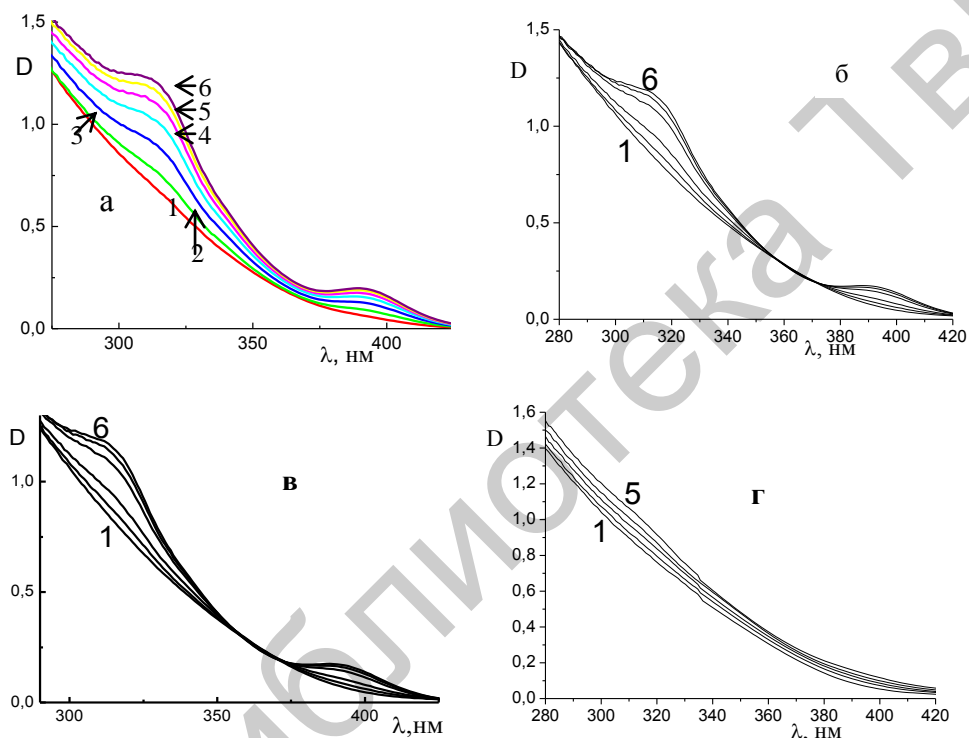


Рис. 3. Изменение УФ спектра поглощения ЦСР 1/1.28 в процессе его созревания и в зависимости от степени разбавления: а – неразбавленный ЦСР; б– ЦСР разбавленный в 6; в– 10 и г– 20 раз. Времена созревания во всех случаях составляют: 1 – 0, 2 – 24, 3 – 48, 4 – 72, 5 – 96 и 6 – 120 мин)

Однако дисперсной фазы в этом случае недостаточно для формирования фрактальных кластеров, и процесс гелеобразования при добавлении инициатора в этом случае не происходит. Предельным разбавления ЦСР водой является десятикратное, при этом сохраняется возможность формирования пространственной сетки в растворе.

*Процесс самоорганизации ЦСР под воздействием различных электролитов.* Представляет повышенный интерес дальнейшее протекание процессов самоорганизации в созревшем ЦСР под воздействием различных биоактивных электролитов. В ходе исследования в качестве инициатора, в первую очередь, был использован хлорид меди, так как данный элек-

тролит является сильным комплексообразователем. Следовательно, этот электролит должен активно участвовать в формировании пространственной сетки в процессе гелеобразования. Действительно, в ходе ранее выполненных исследований он показал высокую способность к гелеобразованию при минимальных концентрациях исходных веществ по сравнению с другими хлоридами металлов [7; 8].

Рис. 4 демонстрирует характер самоорганизации в ЦСР по данным метода ДСР в зависимости от концентрации введенного в раствор  $\text{CuCl}_2$ . При введении минимальной концентрации (0,005 мл,  $0,01 \cdot 10^{-2}$  М) хлорида меди в эксперименте (рис. 4,а) в начальный момент (кривая 1) образуется только один широкий пик, отвечающий размеру частиц ~50 нм. Однако, через 5 минут (кривая 2) эта мода расщепляется на 3 пика, отвечающих частицам с размерами 8, 25 и 280 нм. На 10-ой минуте (кривая 3) количество небольших частиц (8 нм) в ЦСР увеличивается с 2 до 3 %, а размер крупных частиц достигает ~500 нм. К 14-ой минуте (кривая 4) в ЦСР уже большую часть составляют частицы размером ~20 и ~115 нм, а также появляются крупные частицы с размером ~4700 нм. На 19-ой минуте эксперимента (кривая 5) состав частиц в системе практически такой же, что и в предыдущем случае, и колеблется в диапазоне от 5 до 4780 нм.

При добавлении в ЦСР большей на порядок концентрации  $\text{CuCl}_2$  (рис. 4,б) происходят аналогичные изменения на кривой распределения частиц по размерам со временем, по сравнению с предшествующим случаем (рис. 4,а). При дальнейшем увеличении концентрации электролита вдвое (рис. 4в) происходит со временем резкое увеличение доли частиц большого размера. Так, если для начального состояния (кривая 1) большинство частиц имело средний размер 200 нм с двумя пиками меньшего размера (~18 и 70 нм), то при временах 15 мин и более (кривые 3-5) наблюдалось преимущественно образование больших агрегатов с размером ~1218 – 1348 нм.

Увеличение концентрации вводимого электролита в ЦСР до 0,15 мл ( $0,3 \cdot 10^{-2}$  М) (рис. 4,г) приводило буквально с первой же минуты к резкому увеличению размера (кривая 1), а на 2 мин и более (кривые 2-5) этот размер для большинства частиц составлял ~1260 нм. Образование столь больших по размеру частиц свидетельствует о начале процесса гелеобразования и формирования пространственной сетки в ЦСР. Этот результат подтверждается также данными по оценке прочности гелей, полученными ранее [2]. Так при введении в созревший ЦСР хлорида меди с концентрацией 0,15 мл ( $0,3 \cdot 10^{-2}$  М) и выше образующийся гидрогель был наиболее прочным.

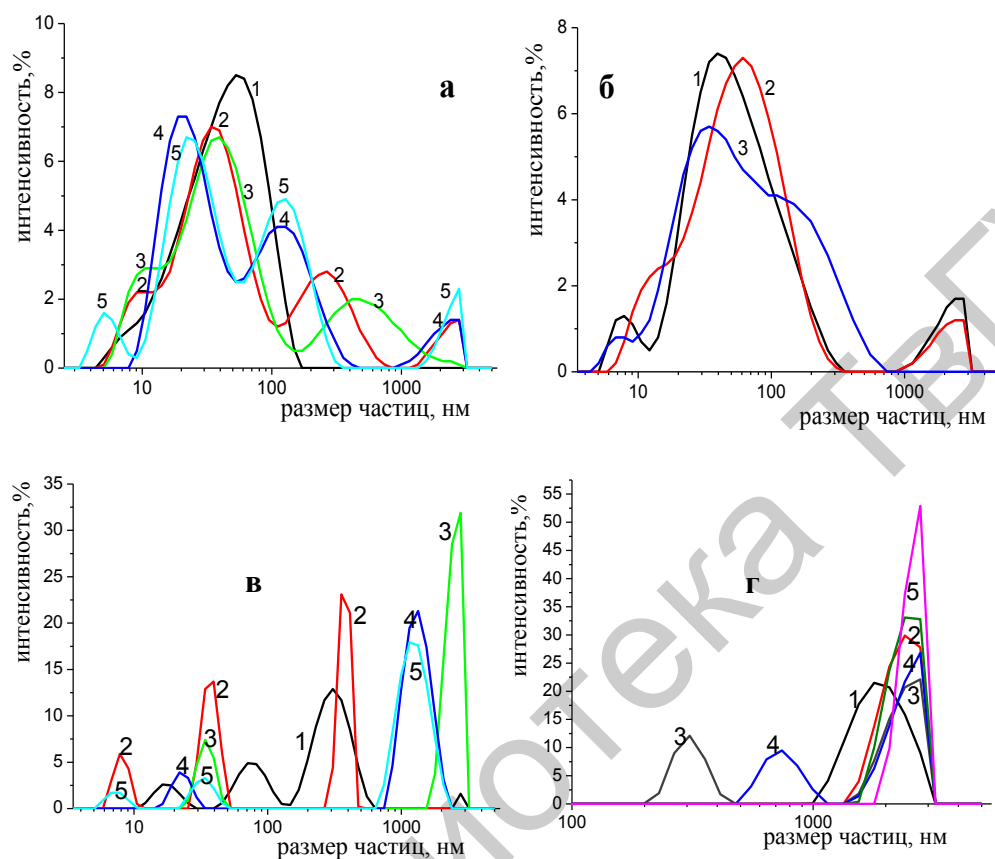


Рис. 4. Кинетика самоорганизации созревшего (60 мин.) ЦСР соотношением 1/1.28 при введении хлорида меди различной концентрации: а – 0,005 мл ( $0,01 \cdot 10^{-2}$  М); б – 0,05 мл ( $0,1 \cdot 10^{-2}$  М); в – 0,1 мл ( $0,2 \cdot 10^{-2}$  М); г – 0,15 мл ( $0,3 \cdot 10^{-2}$  М),  $T=25^{\circ}\text{C}$

Исходя из данных, представленных на рис. 4,а-г, можно проследить процесс самоорганизации при добавлении электролита ( $\text{CuCl}_2$ ) в разных количествах и образования со временем прочного гидрогеля. Нумерация на всех графиках соответствует следующим временным интервалам: 1–0 мин., 2–5 мин., 3–10 мин., 4–15 мин., 5–20 мин.

Рис. 5 характеризует процессы самоорганизации, происходящие в созревшем ЦСР, при введении в него  $\text{NiCl}_2$ . Из рисунка видно, что в исходном ЦСР присутствует один пик с максимумом при  $\sim 50$  нм. Однако при введении в ЦСР хлорида никеля, как инициатора гелеобразования, происходит резкое увеличение доли частиц большого размера (900–2000 нм). Это свидетельствует о начале желирования раствора. Следует отметить, что с ростом времени стояния раствора происходит рост размеров больших кластеров и их доли (кривые 2-4). Сравнивая рис. 4 и



рис. 5 можно заключить, что катионы Cu и Ni в хлоридах примерно в равной степени влияют на процесс гелеобразования.

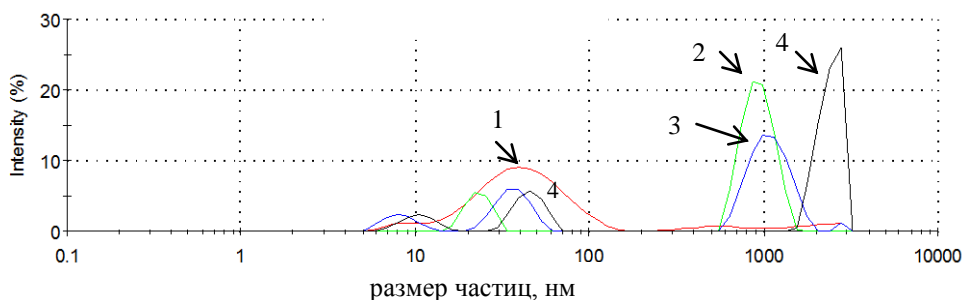


Рис. 5. Распределение частиц по размерам в созревшем ЦСП (1) и при добавлении 0,01 мл  $\text{NiCl}_2$  ( $0,02 \cdot 10^{-2}$  М) в зависимости от времени стояния раствора: 5(2) 10(3) и 15 мин(4). ЦСП с 1 мл 1 мл  $\text{Cu}$ /1.28 мл  $\text{AgNO}_3$ ,  $T=25^\circ\text{C}$

На характер процесса самоорганизации в ЦСП может влиять как катион, так и анион электролита [9]. Поэтому было важно сравнить влияние солей с разными анионами на процесс гелеобразования. Рис. 6 характеризует влияние сульфата никеля на процесс самоорганизации в ЦСП. Видно, что при добавлении электролита в ЦСП доля частиц большого размера (~2000 нм) резко увеличивается. Сравнивая влияние различных анионов при одинаковых катионах металлов (рис. 5 и 6) легко заметить, что сульфат-анионы являются более активными инициаторами гелеобразования по сравнению с хлорид-анионами. Действительно, при добавлении в ЦСП сульфат-анионов сразу же образуются частицы большого размера (~2000 нм), в то время как при введении хлорид-анионов такие частицы возникают после 15 мин стояния раствора

Рис. 7 характеризует влияние различного содержания  $\text{CuSO}_4$ , вводимого в ЦСП, на процесс самоорганизации. Из представленных данных видно, что процесс гелеобразования под воздействием сульфата и хлорида меди отличается от такового при добавлении солей никеля.

На характер процесса самоорганизации в ЦСП может влиять как катион, так и анион электролита [9]. Поэтому было важно сравнить влияние солей с разными анионами на процесс гелеобразования. Рис. 6 харак-

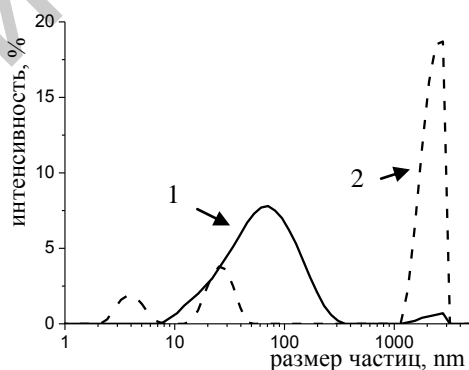


Рис. 6. Распределение частиц по размерам в ЦСП при добавлении 0,03 мл  $\text{NiSO}_4$  ( $0,06 \cdot 10^{-2}$  М). 1- исходный ЦСП, 2-при добавлении электролита. (1/1.28).  $T=25^\circ\text{C}$

теризует влияние сульфата никеля на процесс самоорганизации в ЦСР. Видно, что при добавлении электролита в ЦСР доля частиц большого размера (~2000 нм) резко увеличивается. Сравнивая влияние различных анионов при одинаковых катионах металлов (рис. 5 и рис. 6) легко заметить, что сульфат-анионы являются более активными инициаторами гелеобразования по сравнению с хлорид-анионами. Действительно, при добавлении в ЦСР сульфат-анионов сразу же образуются частицы большого размера (~2000 нм), в то время как при введении хлорид-анионов такие частицы возникают после 15 мин стояния раствора

Рис. 7 характеризует влияние различного содержания  $\text{CuSO}_4$ , вводимого в ЦСР, на процесс самоорганизации. Из представленных данных видно, что процесс гелеобразования под воздействием сульфата и хлорида меди отличается от такового при добавлении солей никеля.

Это связано с тем, медь является более сильным комплексообразователем и поэтому быстрее других связывает цепочки и кластеры из молекул МС между собой и образует более прочный гидрогель.

В настоящей работе исследовано влияние на процесс гелеобразо-

вания и других биоактивных металлов, таких как марганец, магний и кобальт. На рис. 8 представлено распределение частиц по размерам для хлоридов (а) и сульфатов (б) металлов. Проследим, как влияют различные катионы и анионы в электролите на процесс гелеобразования при введении в созревший ЦСР хлоридов  $\text{NiCl}_2$ ,  $\text{CoCl}_2$ ,  $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{MnCl}_2$  и сульфатов металлов  $\text{NiSO}_4$ ,  $\text{CoSO}_4$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$  и  $\text{MnSO}_4$ .

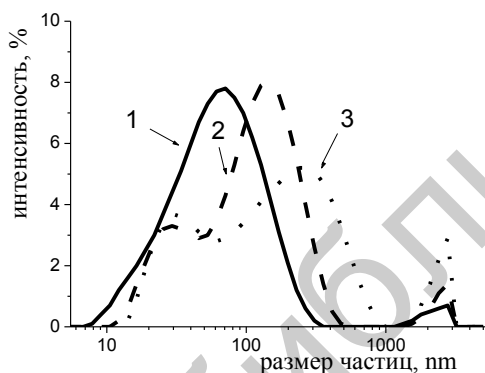
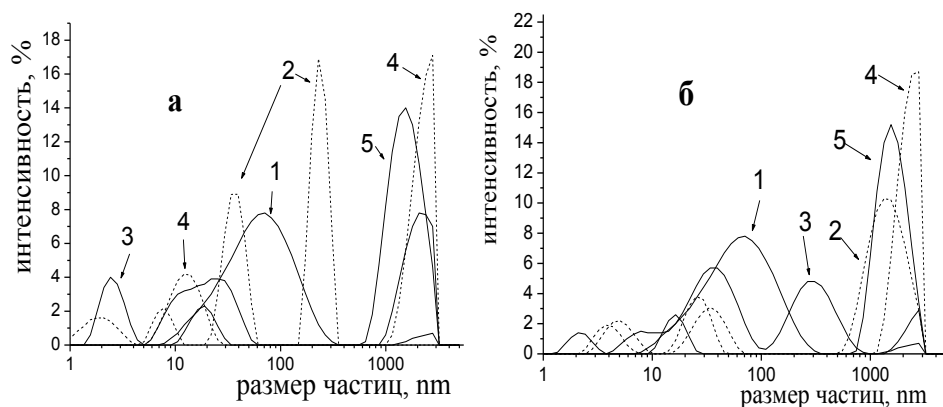


Рис. 7. Распределение частиц по размерам в ЦСР (1) при добавлении 0,005 мл (2) и 0,01 мл (3)  $\text{CuSO}_4$



Р и с . 8. Распределение частиц по размерам в ЦСР (1) при добавлении 0,03 мл ( $0,06 \cdot 10^{-2}$  M )  $MeCl_2$  – а: Mg(2), Co(3), Ni(4) и Mn(5);  $MeSO_4$  – б: Mg(2), Mn(3), Co(4) и Ni(5)

Для  $MgCl_2$  характерно наличие трех пиков, локализованных около основного пика в ЦСР (~100 нм), в то время как для  $MgSO_4$  характерно некоторое количество частиц небольшого размера и наличие большого пика (~1380 нм). Для Co в обоих случаях наблюдается три пика. Однако для  $CoSO_4$  размеры частиц во всех трёх случаях больше, чем для хлорида кобальта.

Для  $NiCl_2$  и  $NiSO_4$  характерно наличие трех пиков. 1-й и 2-й пики отвечают частицам небольшого размера, соответственно 2 и 13 нм ( $NiCl_2$ ) и 2 и 20 нм ( $NiSO_4$ ). 3-й пик для сульфата и хлорида никеля соответствует частицам с размером 1500 нм и более. Можно предположить, что в случае хлорида и сульфата Ni процесс гелеобразования определяется преимущественно катионами Ni. Соли Mn ( $MnCl_2$  и  $MnSO_4$ ) при введении в ЦСР дают три пика.  $MnSO_4$  отличается от сульфатов других металлов тем, что при взаимодействии ЦСР с ним происходит небольшое смещение первых 2-х пиков в сторону меньших размеров. Это объясняет, по-видимому, то, что прочность геля с введенным  $MnSO_4$  меньше (~3 по 5-балльной шкале [1]), чем для других сульфатов.

На основе полученных данных можно заключить, что процесс гелеобразования зависит не только от концентрации и типа введенного катиона металла, но и от концентрации и типа аниона. Так, при использовании сульфатов металлов получаемые гели обладают большей прочностью, образуют более крупные частицы (кластеры), и время необходимое на образование гидрогеля существенно меньше, чем в случае хлоридов этих же металлов.

Таким образом, установлено, что при введении в качестве инициатора сульфатов и хлоридов различных металлов можно получить гидрогель, в отличие от нитратов, где гель при любой концентрации не удалось получить. Также показано, что для каждого электролита суще-

ствует своя критическая концентрация, при которой происходит быстрое структурирование системы, и, регулируя концентрацию электролита и его состав, можно изменять его прочностные свойства. В дальнейшем предполагаем, продолжить совместные исследования методами ДСР, УФ спектроскопии и вискозиметрии процесса самоорганизации ЦСР под воздействием различных электролитов.

#### Список литературы

1. Pakhomov P.M. et al. // *Colloid Journal*. 2004. V. 66, № 1. P. 65.
2. Войнар А.И., Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека и применение в медицине, 2 изд., М., 1960, С. 73—77.
3. Опанасюк И.В., Опанасюк Ю.В. // Костнопластические материалы в современной стоматологии. Аллопластические материалы
4. Медицинский портал doctor-v // Физиология человека, гл. 12.2
5. Комаров П.В., Санников И.П., Хижняк С.Д., Овчинников М.М., Пахомов П.М. // *Российские нанотехнологии*. 2008. Т.3. №11–12. С. 82–87.
6. Пахомов П.М., Овчинников М.М., Хижняк С.Д., Рощина О.А., Комаров П.В. // *Высокомолек. соед.* 2011. серия А. Т.53, №9. С.1574–1581.
7. Овчинников М.М., Хижняк С.Д., Пахомов П.М. // *Физико-химия полимеров*. Тверь, 2008. Вып. 14. С. 186.
8. Овчинников М.М., Хижняк С.Д., Пахомов П.М. // *Физико-химия полимеров*. Тверь, 2007. Вып. 13.
9. Егорова Е.В., Спиридонова В.М., Савельева В.С., и др. // *Физико-химия полимеров*. Тверь, 2008. Вып. 14. С. 195.

#### THE EFFECT OF VARIOUS BIOACTIVE ELECTROLYTES ON GELLATION PROCESS IN AQUEOUS CYSTEINE-SILVER SOLUTION

Y.V. Andrianova, S. Zolotukhina, S.D. Khizhnyak, P.M. Pakhomov

Tver State University  
*Department of physical chemistry*

In the present work is obtained gellation system based on dilute aqueous solutions of L-cysteine, silver nitrate and bioactive electrolytes. As electrolytes used were aqueous solutions of nitrates, sulfates and chlorides of metals:  $\text{Co}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ni}^{+2}$ . On the one hand, these metal salts were gel initiators, and with another, hydrogels with microelements may be a perspective material for development of medicines. A study of self-organization of the system, performed spectroscopic analysis by dynamic light scattering and UV spectroscopy. The interest to low-concentrated (~0,01%) supramolecular hydrogels based on cysteine and silver is caused, as a convenient model system for studying the mechanism of self-organization in a highly charged dilute solutions and the possibility of their wide use in medicine, pharmaceutical, household, sports, etc. It is established that at introduction into CSS formed of sulfates of metals the strongest hydrogels,

when at introduction of nitrates gels are not formed, and the introduction of the chlorides of metals less strong gels are formed. It was also found that for each electrolyte there is the critical concentration at which there is a rapid formation and structuring of the most durable gel. Regulating concentration of electrolyte it was possible to receive hydrogel with a varied durability.

**Keywords:** *low-concentration aqueous solution, L-cysteine, silver nitrate, bioactive electrolytes, self-organization process, thixotropic hydrogels*

*Об авторах:*

АНДРИАНОВА Яна Вячеславовна – аспирант химико-технологического факультета, техник 1-й категории кафедры физической химии ТвГУ, e-mail: [nurichan-87@mail.ru](mailto:nurichan-87@mail.ru)

ЗОЛОТУХИНА Светлана Юрьевна – студентка 1-го курса магистратуры химико-технологического факультета, e-mail: [2107922009@mail.ru](mailto:2107922009@mail.ru)

ХИЖНЯК Светлана Дмитриевна – кандидат химических наук, зав. лабораторией спектроскопии, e-mail: [sveta\\_khizhnyak@mail.ru](mailto:sveta_khizhnyak@mail.ru)

ПАХОМОВ Павел Михайлович – профессор, доктор химических наук, профессор кафедры физической химии ТвГУ, e-mail: [pavel.pakhomov@mail.ru](mailto:pavel.pakhomov@mail.ru)