

Физическая химия

УДК 544.773.432

DOI 10.26456/vtchem2025.1.1

Исследование процессов самоорганизации в водном растворе глутатиона при взаимодействии с нитратом серебра

Я.В. Андрианова, А.А. Беляков, Д.В. Вишневецкий, П.М. Пахомов

ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г. Тверь

Проведено комплексное исследование смесей водных растворов глутатиона (GSH) и нитрата серебра (AgNO_3) с целью изучения процессов самоорганизации при использовании комплекса физико-химических методов (ИК-, УФ-спектроскопии, динамического светорассеяния – ДСР, рН-метрии и вибрационной вискозиметрии). Определены концентрационные соотношения, при которых водный раствор GSH/AgNO_3 сохранял седиментационную устойчивость. Установлено взаимодействие GSH с AgNO_3 по тиольной группе. Однако пока гель не удалось получить.

Ключевые слова: *низконцентрированный водный раствор глутатиона, нитрат серебра, самоорганизация.*

Структурирование в молекулярных растворах с низким содержанием растворенных веществ – явление редкое и недостаточно изученное. Ранее были исследованы процессы самоорганизации в цистеин-серебряном растворе. Проведено всестороннее исследование процессов самоорганизации в цистеин-серебряном растворе (ЦСР), необходимое для нахождения взаимосвязи «строение-свойство» [1-3]. Известно, что при добавлении в ЦСР различных низкомолекулярных электролитов запускается процесс гелеобразования, и формируется супрамолекулярный тиксотропный гидрогель [4]. Такие гидрогели могут быть использованы в качестве матрицы-носителя активного микроэлемента в своем составе и применены в области фармацевтики, например, для нетоксичного обеззараживания поверхности ран, а также успешно подавлять рост некоторых раковых клеток с большей эффективностью, чем исходные компоненты [5]. В связи с этими исследованиями, был поставлен вопрос о поиске дополнительных видов «матриц» для улучшения фармакинетических и фармакологических свойств этих систем. Одним из таких веществ, потенциально способных ассоциировать с ионами серебра и образовывать гидрогель, может быть глутатион (рис.1), в состав которого входит аминокислота L-цистеин, участвующая в двухэтапном процессе гелеобразования с солями серебра, аминокислота L-глицин и глутаминовая кислота.

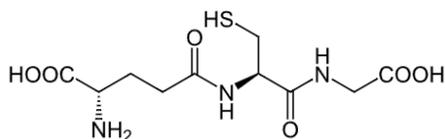


Рис. 1. Молекула глутатиона в восстановленной форме (GSH)

Выбор глутатиона обусловлен его положительным влиянием на организм человека: повышает защиту нервных тканей и клеток от оксидативного стресса, увеличивает восстановительные способности организма. Глутатион является одним из самых мощных антиоксидантов, благодаря чему широко используется в медицинской сфере, спорте и косметологии. Также, вещество эффективно тем, что в окислительно-восстановительном цикле влияет как на окислительные, так и восстановительные функции. Кроме того, уникальность глутатиона среди группы антиоксидантов заключается в возможности восстанавливать поврежденные клетки [6]. Ряд исследований также подтверждает, что глутатион способен замедлять процессы развития болезней Альцгеймера и Паркинсона, а также других дегенеративных процессов мозга и ЦНС. Биологическая функция глутатиона обусловлена способностью его двух восстановленных молекул (2GSH) отдавать пару электронов молекуле акцептору. При этом глутатион переходит в окисленную форму с образованием дисульфида GSSG, который вновь может восстановиться с помощью фермента глутатионредуктазы (GR) [7]. GSH выполняет ключевую роль в реакциях восстановления перекисей липидов и пероксида водорода, которые возникают в клетках при окислительном стрессе. Структура и функции многих белков клетки зависят от обратимого формирования дисульфидных связей [8], восстановление которых происходит с помощью глутатиона. Следовательно, глутатион выполняет первостепенную роль в реакциях тиол-дисульфидного обмена клеток, а также вовлечен в глутатионилирование белков, что обуславливает его важную роль в процессах внутриклеточной редокс-сигналикации и фолдинга белков [9].

Таким образом, разностороннее исследование процессов самоорганизации, структуры и свойств образующихся систем GSH/AgNO₃ является актуальной задачей. В связи с этим, целью данной работы является исследование процессов, происходящих при смешении водных растворов восстановленной формы глутатиона и нитрата серебра физико-химическими методами исследования, а также поиск возможных условий гелеобразования в данных системах.

Экспериментальная часть

В работе использовались реактивы: нитрат серебра AgNO₃ («Across»), L-глутатион восстановленный («AppliChem»). В начале была приготовлена серия растворов GSH/AgNO₃ с концентрациями глутатиона

и нитрата серебра 0,01 моль/л в объемных соотношениях глутатиона к нитрату серебра: 1:0,25, 1:0,5, 1:0,75, 1:1, 1:1,25, 1:1,5, 1:1,75, 1:2, 1:2,25. Провели визуальную оценку процесса взаимодействия нитрата серебра с глутатионом в исследуемых соотношениях.

Показатель кислотности систем измеряли при помощи рН-метра «Аквилон 410».

Для определения кинетики процесса взаимодействия тиольной группы цистеинового участка глутатиона с ионами серебра использовали УФ-спектрометр фирмы «Evolution Analyt», толщина кюветы $d=0,1$ см.

Методом динамического рассеяния света (Zetasizer «Nano» ZS анализатор фирмы «Malvern» с He-Ne лазером (633 нм)) определяли размеры частиц, образующихся в результате взаимодействия глутатиона с нитратом серебра в разных соотношениях, а также установили количественное влияние нитрата серебра в разных соотношениях на характер кластерообразования. С помощью ZetaSizer «Nano» измерили дзета-потенциал образующихся частиц.

С помощью метода динамической вискозиметрии (SV-10 вибрационный вискозиметр фирмы «A&D Company», в котором измерительные лепестки вибрируют с частотой 30 Гц и амплитудой 1 мм) установили зависимость изменения вязкости систем от соотношения AgNO_3 к GSH.

ИК-спектры образцов регистрировали на Фурье-ИК спектрометре «Vertex-70» (фирма «Bruker»). Образцы предварительно вымораживали, полученные осадки отделяли центрифугированием при скорости 10^4 об/мин в течение 10 мин, а затем сушили при температуре 30°C .

Результаты и их обсуждения

На рис. 2 представлены результаты визуального исследования системы GSH/AgNO_3 в разных концентрационных диапазонах:

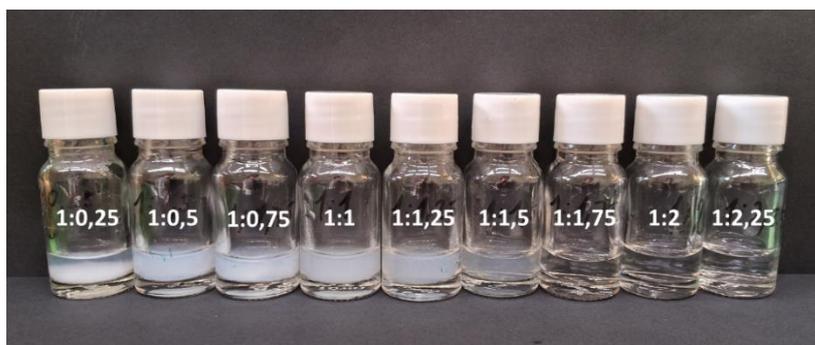


Рис. 2. Серия систем глутатион/нитрат серебра (в концентрационных диапазонах от 1:0,25 до 1:2,25)

Из рис. 2. видно, что для данной системы GSH/AgNO_3 оптимальными соотношениями являются – 1:2 и 1:2,25. Соотношение 1:1,75 находится в переходном состоянии, и при смешении исходных веществ становится

прозрачным не сразу, а спустя 2 мин. в отличие от соотношений 1:2 и 1:2,25, где раствор становится прозрачным практически сразу после смешения. В остальных соотношениях происходит опалесценция и выпадение белого осадка. Таким образом, в результате визуального исследования смесей установлено, что для получения стабильной системы необходимо, чтобы нитрат серебра находился как минимум в двукратном избытке относительно глутатиона. В таких соотношениях растворы остаются прозрачными, устойчивыми во времени, и в них не наблюдается выпадения осадка даже по истечению месяца с момента приготовления. Полученные результаты существенно отличаются от известного соотношения L-цистеина к нитрату серебра, в котором оптимальным соотношением Cys/AgNO₃ является 1:1,25–1:1,27. Такую разницу в соотношениях аминокислоты L-цистеина и трипептида глутатиона, в составе которого присутствует L-цистеин, можно объяснить более сложной структурой глутатиона по сравнению с L-цистеином.

Методом pH-метрии исследовали изменение показателя кислотности в ходе процесса самоорганизации в исследуемых системах.

Таблица 1

Изменение показателя pH в системах GSH: AgNO₃

Образец	GSH	AgNO ₃	GSH:AgNO ₃ 1:0,25	GSH:AgNO ₃ 1:0,5	GSH:AgNO ₃ 1:0,75
pH	2,91	5,33	2,58	2,56	2,53
Образец	GSH:AgNO ₃ 1:1	GSH:AgNO ₃ 1:1,25	GSH:AgNO ₃ 1:1,5	GSH:AgNO ₃ 1:1,75	GSH:AgNO ₃ 1:2
pH	2,52	2,45	2,43	2,41	2,37
Образец	GSH:AgNO ₃ 1:2,25				
pH	2,36				

Так, в таб. 1. представлены результаты исследования изменения кислотности в исходных растворах (GSH и AgNO₃) и в выбранных устойчивых системах GSH/AgNO₃ в соотношениях 1:2 и 1:2,25. Также для сравнения измерили кислотность всего исследуемого концентрационного соотношения (мутных растворов) от 1:0,25 до 1:1,75). Можно заметить, что pH глутатиона равна 2,91, при добавлении нитрата серебра в системе происходит ступенчатое увеличение кислотности. Это, скорее всего, связано с взаимодействием ионов серебра с тиольной группой глутатиона, и, в результате высвобождения протонов водорода. При достижении соотношения (1:2 и 1:2,25) значение кислотности стабилизируется, и его дальнейшие изменения незначительны и

находятся в пределах погрешности, что говорит об оптимизации пространственной структуры глутатиона. Стоит заметить, что при смешении растворов вначале наблюдается помутнение при всех соотношениях, но в течение 30 сек для соотношений 1:2 и 1:2,25 растворы становятся прозрачными, и осадок не выпадает. В остальных растворах происходит постепенное выпадение осадка с течением времени (1 мин). После чего данное состояние как на рис. 2 сохраняется без изменений длительное время (~месяц). Только после достижения прозрачности раствора производили измерение его кислотности. Также следует отметить, что данные соотношения сохраняли устойчивость в течение минимум 4-х недель, что также подтверждалось методом УФ-спектроскопии. На рис. 3 представлены УФ-спектры поглощения глутатиона и смесей глутатиона с нитратом серебра в исследуемых соотношениях сразу после приготовления. Через две недели изменений в интенсивности образовавшихся полос поглощения не было обнаружено. Таким образом, можно судить о том, что процесс самоорганизации в системе GSH/AgNO₃ происходит значительно быстрее (~2 мин), чем в системе цистеин/AgNO₃ (~180 мин), что является явным преимуществом в пробоподготовке образцов и дальнейшем их применении.

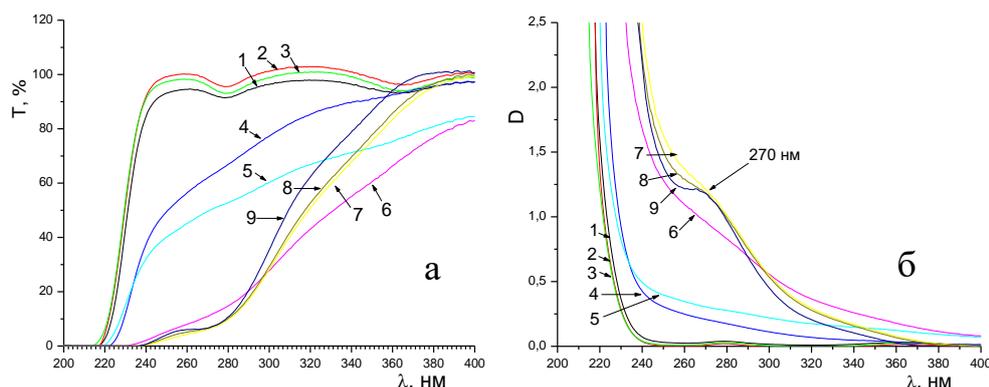


Рис. 3. УФ-спектры пропускания (а) и поглощения (б) взаимодействия глутатиона с нитратом серебра, $d=0,1$ см, в соотношениях: 1 – 1:0,25; 2 – 1:0,5; 3 – 1:0,75; 4 – 1:1; 5 – 1:1,25; 6 – 1:1,5; 7 – 1:1,75; 8 – 1:2; 9 – 1:2,25, время после смешивания – 1 мин.

Результаты исследования методом УФ-спектроскопии хорошо коррелируют с данными рН-метрии и показали, что при дальнейшем увеличении в соотношении количества добавляемой соли серебра не дает существенных изменений, что также подтверждает целесообразность выбранного исследуемого диапазона соотношений в системе: 1:2 и 1:2.25. Также, в результате измерений не наблюдалось характеристических полос для процесса самоорганизации посредством образования связи S-Ag, как в системах цистеин-нитрат серебра (полосы

поглощения в области 390 и 310 нм). При этом, на спектре проявляется полоса 270 нм, которая наблюдается для растворов с наибольшим избытком ионов Ag^+ в исследуемых системах (кривые 8 и 9). В то время как спектр 0,01М раствора глутатиона в данной области предствалает собой вид нисходящей гиперболы. По полученным УФ-спектрам установлено, что оптимальным соотношением с наиболее выраженной полосой является – 1:2,25. Данная полоса поглощения также соответствует образованию связи S-Ag, что доказано изучением процесса самоорганизации в цистеин-серебряных растворах и исследованиям, проведенным группой авторов, доказывающих возможность образования связи S-Ag между нитратом серебра и альбумином [10]. Таким образом, по образованию полосы поглощения 270 нм на кривых 8 и 9 (рис.3б) можно судить о координировании ионов серебра с тиольной группой глутатиона. Соотношения 1:0,25 (1), 1:0,5 (2) и 1:0,75 (3) в УФ-спектре поглощения (рис. 3б) не имеют полос поглощения, и, поскольку, являются мутными, их следует рассматривать в УФ-спектре пропускания (рис. 3а), где они, подтверждая свои свойства, имеют пропускание практически равное 100%. Затем, как видно из рис. 3а в соотношениях 4 и 5 происходит постепенный переход, и дальнейшие соотношения следует рассматривать в спектре поглощения (рис. 3б). Так, на рис. 3б видно, как постепенно формируется характерная для процесса самоорганизации тиольной группы с серебром полоса поглощения 270 нм, которая в результате является характеристической и для взаимодействия глутатиона и нитрата серебра.

Таким образом, были выбраны оптимальные концентрационные соотношения исследуемых систем. Так, для GSH/AgNO_3 данный диапазон составил: 1:2.25 и 1:2. Были определены дзетта-потенциал и размеры частиц в 2-х образцах, выбранных по принципу максимальной устойчивости (прозрачности): GSH/AgNO_3 : 1/2, 1/2,25. Размеры частиц представлены на рис. 4.

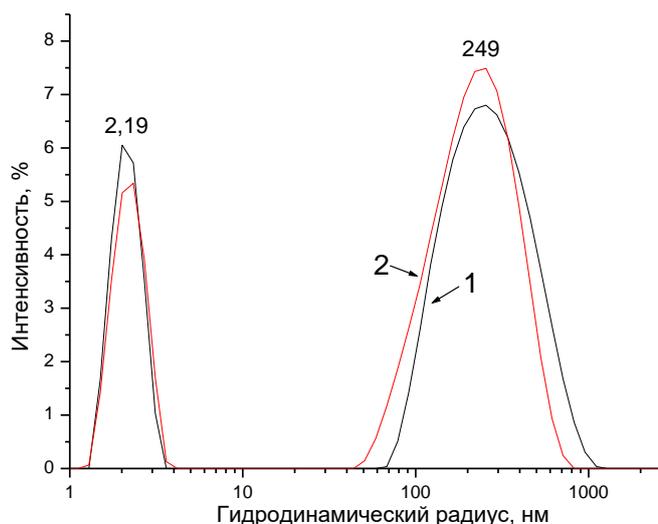


Рис. 4. Распределение по размерам частиц в системах GSH/AgNO₃:
1 – 1:2, 2 – 1:2,25; T=27°C

Установлено, что нитрат серебра вызывает ассоциацию с молекулами глутатиона, и в результате в системах наблюдается образование частиц, гидродинамический радиус которых составляет ~2,19-2,33 нм и ~249-255 нм, по сравнению с исходным глутатионом, размер частиц которого составляет ~0,94 и ~176 нм, а интенсивность рассеяния (по оси ординат) для распределения по размерам частиц глутатиона равна соответственно 2,64 и 37,92 %, поэтому нецелесообразно представлять полученные данные на рис.4. Также исследовали распределение по размерам частиц для соотношения 1:1,75, переходного состояния к стабильной системе GSH/AgNO₃. Установлено, что гидродинамический радиус соотношения 1:1,75 составляет 530 нм (интенсивность рассеяния = 54,6%), что свидетельствует о наличии в растворе крупных агрегатов. Стоит заметить, что данное соотношение представляет собой слегка опалесцирующий раствор без видимых глазу включений, однако, методом ДРС доказано, что данное соотношение существенно отличается от стабильного соотношения в результате большого различия в размерах частиц. Таким образом, методом динамического рассеяния света доказано, что оптимальными рабочими соотношениями являются только 1:2 и 1:2,25.

Методом ДРС провели измерение дзета-потенциала данных двух соотношений. Измерения ζ -потенциала представлены на рис. 5.

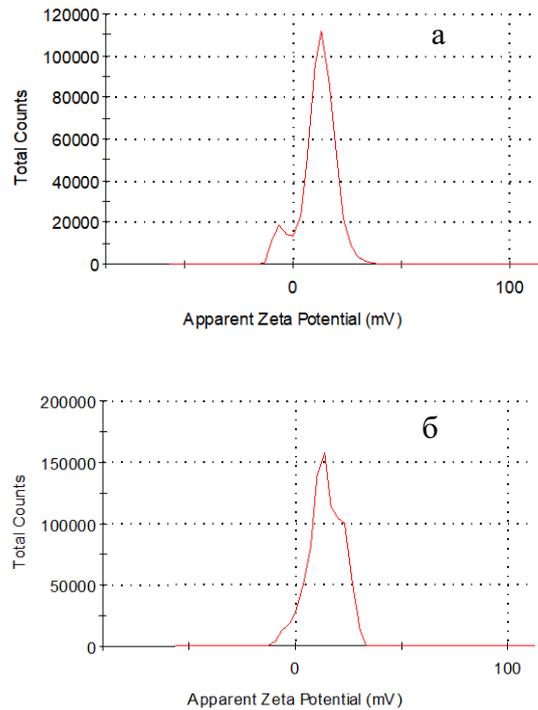


Рис. 5. Изменения ξ -потенциала системы GSH/AgNO₃ в соотношении: а – 1:2, б – 1:2.25

Электрокинетический потенциал показал в исследуемых образцах положительное значение: для системы GSH/AgNO₃ – 1:2 равен +13,3 мВ, а для системы GSH/AgNO₃ – 1:2.25 равен +13,6 мВ. Положительные значения ξ -потенциала на границе скольжения свидетельствуют о положительном заряде адсорбционного слоя частиц-ассоциатов. Однако, значения ξ -потенциала в цистеиновых системах примерно в 6 раз выше. Следовательно, в дальнейших исследованиях самоорганизации с участием ионов-инициаторов возможного гелеобразования, следует добавлять в систему анионы с соответствующим невысоким отрицательным зарядом.

В ходе реологических исследований (рис. 6) установлено, что вязкость

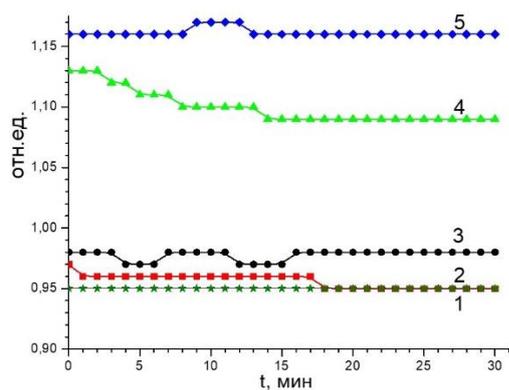


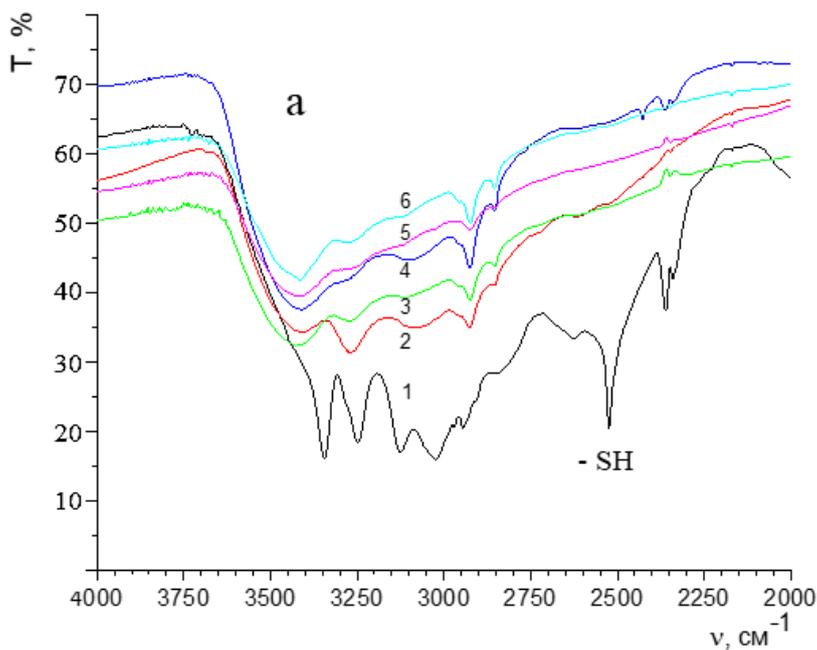
Рис. 6. Зависимость изменения вязкости от соотношения в системе GHS/AgNO₃:

1 – GSH; 2 – 1:0,25; 3 – 1:1; 4 – 1:2; 5 – 1:2,25, C=0,01 М

выбранных устойчивых соотношений выше, чем динамическая вязкость образцов с меньшим содержанием нитрата серебра по отношению к глутатиону: $\eta(1:0,25)=0,95$, $\eta(1:1)=0,98$, $\eta(1:2)=1,09$, $\eta(1:2,25)=1,16$.

Также, при сравнении вязкости данных систем с вязкостью исходных компонентов, можно заметить, что их значения отличаются: $\eta(\text{GSH})=0,95$, $\eta(\text{AgNO}_3)=0,96$. Таким образом, вискозиметрические исследования доказывают процессы структурирования,

происходящие в системе в результате взаимодействия нитрата серебра и глутатиона.



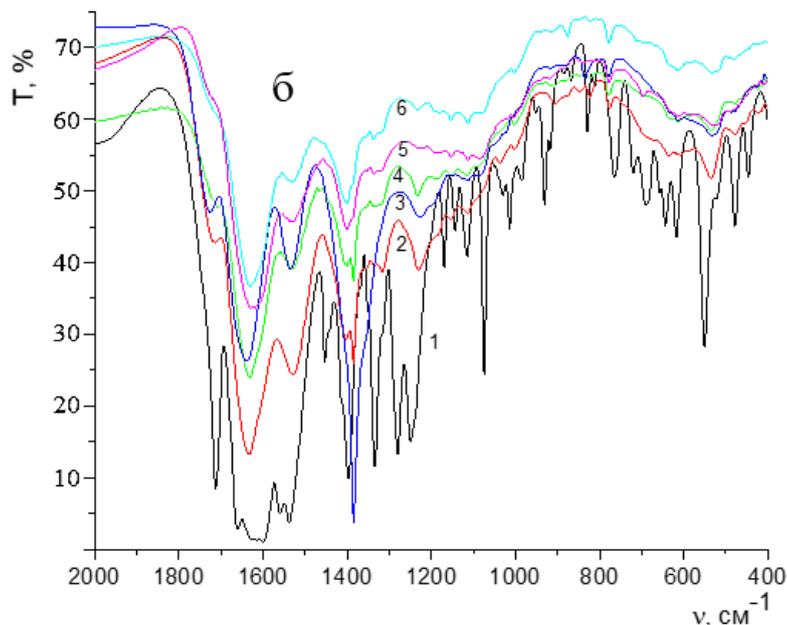


Рис. 7. ИК-спектр пропускания глутатиона (1) и систем GSH/AgNO₃ в соотношениях: 2 – 1:1; 3 – 1:1,25; 4 – 1:1,5; 5 – 1:1,75; 6 – 1:2,25

Методом ИК-спектроскопии (рис.7) установлено, что ассоциация молекул глутатиона с нитратом серебра происходит по тиольной группе –SH, о чем говорит отсутствие полосы 2525 см⁻¹ в системе с нитратом (рис. 7а), которая отвечает за валентные колебания SH-группы. Подобные изменения, связанные с координированием тиольной группы с ионами серебра, происходят и в системах цистеин/нитрат серебра [5]. Также в глутатионе присутствуют две полосы 1660 и 1538, отвечающие за деформационные колебания протонированной аминогруппы (R-NH₃⁺ δ) [11], что также подтверждается достаточно низким значением pH. В системе глутатион/нитрат серебра, данные полосы также присутствуют (рис.7б), однако, с увеличением соотношения происходит уменьшение интенсивности данных полос. Так, для соотношения 1:2 и 1:2,25 они значительно ослаблены и практически неразличимы. Большинство полос относительно глутатиона претерпели изменения. Так, скелетные валентные колебания –CH₂– (1014 см⁻¹) и колебания пептидных фрагментов –CONHR (3247 см⁻¹) в спектре глутатиона отсутствуют после взаимодействия его с нитратом серебра. Заметно ослабление полосы валентных колебаний карбоксильного аниона (1600 см⁻¹), примерно в два раза, а также обнаружено появление сильной узкой полосы высокой интенсивности в области 1385 см⁻¹, что соответствует полосе нитрата серебра. Примечательно то, что при увеличении объемного количества добавляемого нитрата серебра в соотношениях GSH/AgNO₃ происходит уменьшение интенсивности данной полосы, из чего можно сделать

вывод, что нитрат-анион также участвует в процессе структурирования в изучаемом механизме взаимодействия. Также заметно смещение полосы в области 1700 см^{-1} , характерной для спектра глутатиона, при добавлении нитрата серебра, что свидетельствует об уменьшении интенсивности колебания карбоксильной группы, кроме того, подобный эффект проявляется в области деформационных колебаний $\delta(-\text{OH})$: уменьшение интенсивности полосы 935 см^{-1} , отвечающей за неплоские деф. колебания карбоновых кислот. Возможно, в ходе процесса самоорганизации в системе GSH/AgNO_3 происходит переориентация молекулы глутатиона в пространстве, что влияет на уменьшение интенсивности боковых карбоксильных групп, а также происходит уменьшение интенсивности полос $800\text{-}600\text{ см}^{-1}$, отвечающих за деформационные колебания CH- и маятниковых $\text{CH}_2\text{-}$ групп.

Заключение

Таким образом, получены и исследованы новые структурные системы на основе водных растворов нитрата серебра и глутатиона. Измерение дзета-потенциала и размеров образующихся частиц методом динамического рассеяния света показывает, что часть агрегатов в процессе измерения остается в наноразмерном диапазоне, и их гидродинамический радиус равен $\sim 255\text{ нм}$, а также присутствуют частицы, гидродинамический радиус которых составляет $2,33\text{ нм}$. Установлено, что введение глутатиона с избытком соли серебра позволяет получить систему со стабильными частицами и их упорядоченным распределением, что подтверждается методом УФ-спектроскопии, ДРС и измерением дзета-потенциала. Так, для выбранных стабильных соотношений в УФ-спектре образуется полоса поглощения 270 нм , характерная образованию связи S-Ag , а дзета-потенциал для данных систем равен $+13,3\text{ мВ}$ – для соотношения $1:2$ и $+13,6\text{ мВ}$ – для $1:2,25$ соответственно. В результате проведенных исследований установлено, что для данной системы существует определенный концентрационный диапазон, в котором образуются устойчивые ассоциаты. Так, при смешении GSH/AgNO_3 выбрано два оптимальных соотношения – $1:2$ и $1:2,25$. Полученные результаты хорошо коррелируют с данными, полученными рН-метрией, в результате которых установлена зависимость изменения значения рН в данных соотношениях по сравнению с исходными растворами, а также изменение размеров частиц, полученное методом ДРС, и дзета-потенциал данных соотношений, равный $\sim 13\text{ мВ}$. С помощью метода УФ спектроскопии установлено, что в процессе саморганизации происходит рост полосы поглощения в области 275 нм только при определенном соотношении ($1:2,25$), а при соотношении $1:2$ данная полоса не интенсивная, однако, при дальнейшем увеличении соотношения

GSH/AgNO₃ данная полоса поглощения не образуется, что говорит о том, что при избытке нитрата серебра к 1 части глутатиона в 2,5 раза и более система не является некомпенсированной на молекулярном уровне и смещает равновесие в сторону образования осадка. Наиболее оптимальное соотношение 1:2.25, возможно, свидетельствует об образовании единой электронной системы –S–Ag⁺. Кроме того, исчезновение полосы в области 2525 см⁻¹ также свидетельствует о взаимодействии тиольной группы –SH молекул глутатиона нитратом серебра, а также установлено исчезновение полос 1660 и 1538 см⁻¹, отвечающих за деформационные колебания протонированной аминогруппы (R-NH₃⁺), смещение полосы 1700 см⁻¹ и уменьшение интенсивности полосы 1385 см⁻¹, отвечающей деформационному колебанию NO₃⁻-группы.

Работа выполнена на оборудовании Центра коллективного пользования Тверского государственного университета

Список литературы

1. J. P. Jung, J. Z. Gasiowski, J. H. Collier, *Biopolymers*, 2010, 94, 49.
2. Yujie Tu, Nuan Chen, Chuping Li, Haiqian Liu, Rong Zhu, Shengfeng Chen, Qiao Xiao, Jianghui Liu, Seeram Ramakrishna, Liumin He, *National Library of Medicine*, 2019, 90, 1.
3. A. Sharma, S. Kumar, *Polymer Nanocomposites Based on Silver Nanoparticles*, 2021, 176, 25.
4. П. М. Пахомов, М. М. Овчинников, С. Д. Хижняк, М. В. Лавриенко, W. Nierling, M. D. Lechner, *Коллоид. журн.*, 2004, 66, 73.
5. Я. В. Андрианова, Д. В. Вишневецкий, А. И. Иванова, С. Д. Хижняк, П. М. Пахомов, *Изв. РАН. Сер. хим.*, 2023, 72, 2171.
6. О.А. Борисенок, М.И. Бушма, О.Н. Басалай, А.Ю. Радковец Биологическая роль глутатиона // *Медицинские новости*. 2019. 7. С. 3-8.
7. N. Couto, J. Wood, J. Barber The role of glutathione reductase and related enzymes on cellular redox homeostasis network. *Free Radic Biol Med*. 2016; 95. P. 27–42.
8. P. Nagy Kinetics and mechanisms of thiol-disulfide exchange covering direct substitution and thiol oxidation-mediated pathways. *Antioxid Redox Signal*. 2013; 18 (13): 1623–41.
9. А.Г. Шохина, В.В. Белоусов, Д.С. Билан, Генетически-кодируемый биосенсор гоKate для регистрации редокс-состояния пула глутатиона // *Вестник РГМУ*. 2019. №1. С. 94–101.
10. М.В. Лавриенко, Д.В. Дылев, С.Д. Хижняк, Г.Д. Подгорный, М.М. Овчинников, П.М. Пахомов Изучение комплексов альбумина с ионами тяжелых металлов. // *Сб. “Физико-химия полимеров”*. Тверь, 2002. 8. С. 135-140.
11. G. Socrates, *Infrared Characteristic Group Frequencies: Tables and Charts*, Wiley, 2nd edn, London, 1994, 366.

Об авторах:

АНДРИАНОВА Яна Вячеславовна – ассистент, ведущий инженер кафедры физической химии, ФГБОУ ВО «Тверского государственного университета» (170002, г. Тверь, Садовый пер., 35), e-mail: nugi-chan-87@mail.ru

БЕЛЯКОВ Александр Андреевич – студент специалитета кафедры физической химии, ФГБОУ ВО «Тверского государственного университета» (170002, г. Тверь, Садовый пер., 35), e-mail: tealoverwhite@yandex.ru

ВИШНЕВЕЦКИЙ Дмитрий Викторович – кандидат химических наук, доцент кафедры физической химии, ФГБОУ ВО «Тверского государственного университета» (170002, г. Тверь, Садовый пер., 35), e-mail: rikashet@mail.ru

ПАХОМОВ Павел Михайлович – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой физической химии, ФГБОУ ВО «Тверского государственного университета» (170002, г. Тверь, Садовый пер., 35), e-mail: Pakhomov.PM@tversu.ru

Study of self-organization processes In an aqueous solution of glutathione during interaction with silver nitrate

Y.V. Andrianova, A.A. Belyakov, D.V. Vishnevetsky, P.M. Pakhomov

Tver State University, Tver

A comprehensive study of mixtures of aqueous solutions of glutathione (GSH) and silver nitrate (AgNO_3) was conducted to study self-organization processes using a set of physicochemical methods (IR, UV spectroscopy, dynamic light scattering – DLS, pH-metry and vibration viscometry). Concentration ratios were determined at which an aqueous solution of GSH/ AgNO_3 retained sedimentation stability. The interaction of GSH with AgNO_3 at the thiol group has been found out. However, the gel has not been obtained yet.

Keywords: *low-concentration aqueous solution of glutathione, silver nitrate, self-organization.*

Дата поступления в редакцию: 17.02.2025.

Дата принятия в печать: 24.02.2025.