

ПРОЦЕССЫ САМООРГАНИЗАЦИИ И ПОЛУЧЕНИЕ ПЛЕНОК С НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА ИЗ ВОДНОГО ГЛИЦИН-СЕРЕБРЯНОГО РАСТВОРА С ПОЛИВИНИЛОВЫМ СПИРТОМ

К.А. Смирнова, С.Д. Хижняк, А.И. Иванова, П.М. Пахомов

ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г. Тверь

С помощью методов вискозиметрии, динамического светорассеяния (ДСР), Фурье-ИК и УФ спектроскопии, а также сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) исследованы процессы самоорганизации в низкоконцентрированных водных растворах глицина и нитрата серебра (глицин-серебряный раствор – ГСР) и поливинилового спирта (ПВС) Методом отлива из раствора получены пленки ГСР-ПВС. В процессе формирования плёнок обнаружено проявление желтой окраски и ее усиление в процессе хранения пленок, что обусловлено процессами восстановления серебра в виде наночастиц.

Ключевые слова: *глицин, поливиниловый спирт, нитрат серебра, водные растворы, самосборка, получение пленок из раствора, наночастицы серебра.*

Самосборка как явление, часто встречающееся в природе и технологии, вызывает интерес исследователей по всему миру [1]. Прежде всего, самосборка – одна из стратегий создания ансамблей наноструктур – важная часть нанотехнологий. Самосборка лежит в основе получения большого количества динамических, многокомпонентных систем. Ожидается, что в ближайшем будущем использование процессов самоорганизации простых молекул может стать экономичным способом производства передовых материалов [1].

Особое внимание уделяется процессам самосборки α -аминокислот. Аминокислоты, как составляющие белков, являются наименьшими строительными блоками, которые могут участвовать в процессах самоорганизации. Самосборка отдельных молекул аминокислот имеет преимущества низкой стоимости синтеза, простоты моделирования, а также превосходной биосовместимости и биоразлагаемости *in vivo* [2]. Важно отметить, что аминокислоты или производные аминокислот могут образовывать нековалентные связи с другими компонентами для формирования функциональных архитектур, таких как системы доставки лекарств [2]. Самосборка различных строительных блоков пептидов привели к разнообразной

наноструктурной морфологии, включая фибриллы, нанотрубки, сферы, везикулы и гидрогелевые матриксы [3]. Тиксотропные супрамолекулярные гидрогели были получены и исследованы авторами работ [4-6] на основе низкоконцентрированных водных растворов L-цистеина и солей серебра при добавлении солей электролитов. Эти гидрогели обладают бактерицидными и цитотоксическими свойствами [4-6], однако не имеют достаточных прочностных свойств.

Влияние простейших α -аминокислот на молекулы полимеров в низкоконцентрированных растворах, а также получение супрамолекулярных ассоциатов было рассмотрено на примере глицина и ПВС в работе [7]. Глицин (Gly) ($\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$) – простейшая аминокислота и единственная, не имеющая оптических изомеров, необходимая для функционирования центральной нервной системы, а также синтеза нуклеиновых, холевых и других заменимых аминокислот в организме [8]. Обнаружено, что высокие концентрации глицина в коже и соединительных тканях ускоряют процессы заживления [8]. Поливиниловый спирт (ПВС) – водорастворимый биосовместимый полимер, который активно используется в медицине. Серебро в ионной форме (Ag^+) и в виде наночастиц серебра (НЧС) широко используется в качестве сильнодействующих антибактериальных агентов [9, 10].

Авторы работы [8] предприняли попытки изготовить пластыри ПВС-Gly для заживления ран. Были также предприняты попытки в данной работе охарактеризовать строение полученных пленок, а также изучить их цитосовместимость и высвобождение лекарственного средства. Однако концентрации исходных компонентов, используемых для приготовления пленок, намного превышали концентрации, используемые в данной работе. Диапазон концентраций Gly, используемый авторами [8], лежал в диапазоне от 0.267 до 1.333 М, а у нас от 0.01 до 0.05 М. Использование низких концентраций позволяет замечать малейшие изменения в системе при варьировании объемного содержания или компонентного состава.

В данной работе была поставлена задача изучить процесс самоорганизации в ГСР и в ГСР с ПВС, поскольку введение в водный раствор глицина дополнительно нитрата серебра и ПВС должно повысить бактерицидные и механические свойства образца. Полученные растворы и пленки могут найти применение в медицине, например, как средство для заживления ран.

Целью данной работы является изучение процессов самоорганизации в водных растворах Gly, ГСР и ГСР с ПВС при различном соотношении компонентов с помощью комплекса физико-химических методов и возможности получения пленок из водных растворов ГСР с ПВС.

Экспериментальная часть

В работе были использованы реактивы: глицин (Gly) (Panreac, 99.9 %), нитрат серебра (AgNO₃) (Merck, 99.8 %), ПВС (Japan VAM&Poval CO., $\overline{M}_w = 77040$). Все растворы готовили на дистиллированной воде.

Для приготовления образцов с различным объемным соотношением компонентов использовали водные растворы глицина и нитрата серебра с концентрацией 0.01 М, а также водные растворы ПВС с концентрацией 0.1, 5.0, 10.0 % (табл. 1). При получении заданных смесей растворы исходных компонентов смешивали, энергично перемешивали, получали прозрачные бесцветные растворы.

Таблица 1

Состав систем на основе Gly, AgNO₃ и ПВС*

Исходные компоненты	Объем исходных компонентов в образце, мл						
	Gly (0.01 М)	1	6	6	6	6	1
AgNO ₃ (0.01 М)	-	9	9	3	3	-	-
ПВС	-	4	-	2	-	4	4
H ₂ O	1	-	4	-	2	-	1

Плѐнки образцов с разным объемным соотношением исходных компонентов (табл. 2 и табл. 3) были получены методом отлива из раствора в чашке Петри. Пленки высушены при температуре 30°C в сушильном шкафу до постоянного веса. Концентрация исходных компонентов (глицина и AgNO₃) составляет 0.01 М, концентрация ПВС - 5 и 10%. Толщина пленок составляет 10 мкм.

В процессе формирования пленок на основе Gly, AgNO₃ и ПВС (табл.3) было обнаружено появление желтой окраски, а в процессе хранения при комнатной температуре в темноте в течение двух лет – желто-коричневой окраски.

Таблица 2

Состав образцов на основе Gly и ПВС

Исходные компоненты	Объем исходных компонентов в образце, мл	
	Gly	3
ПВС	2	4

Состав образцов на основе Gly, AgNO₃ и ПВС

Исходные компоненты	Объём исходных компонентов, мл			
	Gly (0,01M)	3	2	-
AgNO ₃ (0,01M)	3	4	1	1
ПВС 10%	4	4	1	
ПВС 5%	-	-	-	1

Процессы формирования ассоциатов, а также процессы межмолекулярного связывания позволяет изучить метод вибрационной вискозиметрии. Характеристическая вязкость, измеряемая данным методом, определяется не столько общей длиной цепи, однозначно связанной с молекулярным весом полимера, сколько эффективной длиной цепи в растворе. Вязкость образцов измеряли на вибрационном вискозиметре SV-10 (фирма A&D Company, Япония), в котором вибрация сенсорных пластин осуществлялась с частотой 30 Гц и постоянной амплитудой около 1 мм. Измерение вязкости растворов проводили при температуре 25°C.

Формирование ассоциатов и агрегатов в образцах изучали с помощью метода ДСР на приборе “Zetasizer NanoZS”, “Malvern” с He-Ne-лазером (633 нм) мощностью 4 мВт. Все измерения осуществлялись при 25°C в кюветах из полистирола в конфигурации обратного рассеяния (173°), обеспечивающей наибольшую чувствительность прибора.

Электронные спектры растворов и пленок регистрировали с помощью спектрометра “Evolution Array”, (“Thermo-Scientific”). Для исследования растворов использовали кварцевую кювету с толщиной слоя 2 мм.

Морфологию полученных пленок исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с помощью установки «JEOL JSM-6610 LV» при низком ускоряющем напряжении (5-7 кэВ) в режиме вторичных электронов в Центре коллективного пользования ТвГУ. Образцы наносили тонким слоем на двустороннюю проводящую углеродную ленту, обеспечивающую хороший электрический контакт с предметным столиком микроскопа. Сушка проводилась в режиме вакуума 10⁻⁴ Па.

Элементный анализ образцов осуществляли с помощью установки рентгеновского спектрального микроанализа Oxford INCA Energy 350, сопряженной со сканирующим электронным микроскопом «JEOL JSM-6610 LV»: детектор - Si (Li) Standard, разрешение - 133 эВ, площадь кристалла 20 мм², анализ элементов от бериллия до урана.

ИК спектры пленочных образцов на основе ГСР и ПВС с разным соотношением компонентов (табл. 2) регистрировали на Фурье-ИК

спектрометре «Vertex-70» фирмы «Bruker» с помощью приставки НПВО «ATR Diamond» с алмазным кристаллом.

Результаты и их обсуждение

В ходе приготовления растворов было обнаружено, что при введении глицина в водный раствор ПВС вязкость системы уменьшается. Аналогично и закономерно вязкость раствора ПВС уменьшалась при разбавлении его водой. Данные процессы были исследованы с помощью метода вибрационной вискозиметрии. Обнаружено, что уменьшение вязкости водного раствора ПВС при добавлении глицина более выражено, чем при разбавлении раствора водой, что, предположительно, обусловлено различной природой межмолекулярного взаимодействия глицина и ПВС. Данный эффект наиболее четко выражен при увеличении концентрации ПВС в растворе (рис. 1). Зависимости вязкости от концентрации для обеих систем при концентрации ПВС 1% практически идентичны, тогда как при дальнейшем увеличении концентрации ПВС (5 и 10%) разница становится более заметной. Данный эффект предположительно обусловлен нековалентным связыванием функциональных групп глицина и ПВС.

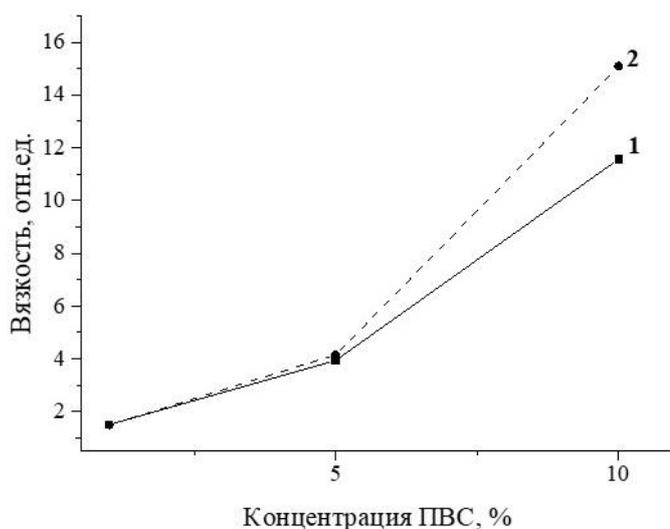


Рис. 1. Зависимость вязкости водных растворов от состава и концентрации ПВС: Gly-ПВС (1) и H₂O-ПВС (2)

Одним из наиболее эффективных методов изучения процессов самоорганизации в растворах является метод ДСР (фотонной корреляционной спектроскопии), позволяющий в реальном времени анализировать кинетику процессов и проводить измерения размеров формирующихся рассеивающих частиц. Исследование образцов

различного композиционного состава даёт возможность выяснить влияние отдельных компонентов на процессы структурирования.

В работе с помощью метода ДСР были проанализированы водные растворы разного состава: растворы глицина, $Gly-AgNO_3$ и $Gly-AgNO_3-ПВС$. Результаты измерения, описывающие распределения образующихся частиц по размерам для указанных растворов, представлены на рис.2. Как мы видим из рисунка в растворе $Gly-H_2O$ при соотношении 1:1, что фактически соответствует уменьшению концентрации глицина в 2 раза, присутствуют частицы с размером ~ 190 нм (рис. 2, кривая 1). Этот раствор оказался стабильным во времени, в нем не наблюдается значительного разброса по размерам. Таким образом, мы получаем доказательство того, что самая простая по строению молекулы аминокислота (Gly) образует в водном растворе достаточно крупные ассоциаты, возникающие за счет множественных межмолекулярных взаимодействий как между цвиттер-ионами самого глицина, так и между цвиттер-ионами глицина и диполями воды.

При добавлении в раствор глицина нитрата серебра при объемном соотношении компонентов 6:9:4 система качественно изменяется: от мономодального распределения частиц происходит переход к бимодальному распределению (рис.2, кривая 2). Судя по форме кривой распределения, в системе образуются частицы с размером ~ 153 нм и формируются крупные агрегаты ~ 460 нм, которые и обеспечивают основной вклад в величину светорассеяния. Можно предположить, что эти крупные агрегаты, имеющие размер примерно в 3 раза больший, по сравнению с исходными частицами (153 нм),

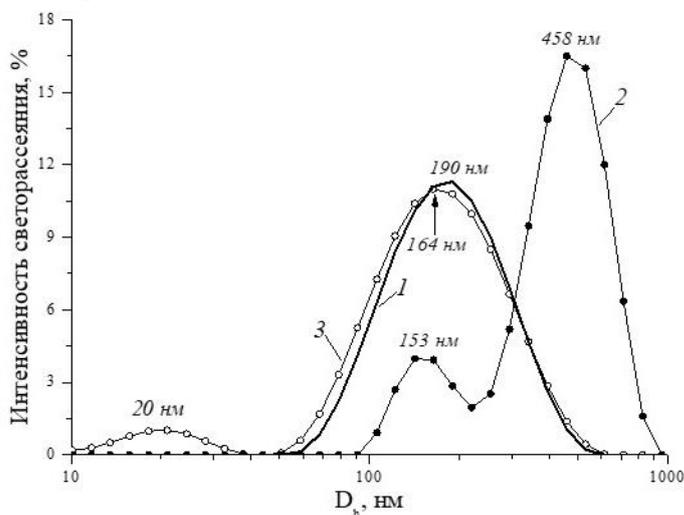


Рис. 2. Распределение частиц по размерам в водных растворах (метод ДСР): $Gly-H_2O$ при объемном соотношении компонентов 1:1 (1); $Gly-AgNO_3-H_2O$ при объемном соотношении компонентов 6:9:4 (2); $Gly-AgNO_3-ПВС$ при объемном соотношении компонентов 6:9:4 (3). Исходная концентрация Gly и $AgNO_3$ - 0.01 М, ПВС - 0.1%

образуются за счет межмолекулярного взаимодействия различного типа – водородное связывание, диполь-диполь, ион-диполь и т.д. Следует также обратить внимание, что размер исходных частиц (153 нм) все же меньше, чем размер ассоциатов цвиттер-ионов глицина (190 нм).

Добавление в водный раствор $Gly-AgNO_3$ ПВС низкой концентрации (0.1%) приводит к появлению мелких рассеивающих частиц ~20 нм и частиц с размером ~164 нм (рис. 2, кривая 3). Данные ДСР подтверждают предположение, что макромолекулы ПВС не только оказывают влияние на характер межмолекулярного взаимодействия, но и являются одним из ключевых участников процессов самоорганизации в растворе.

Для иллюстрации влияния ПВС на процесс образования супрамолекулярных структур с помощью метода ДСР были исследованы две системы $Gly-AgNO_3$ -ПВС и $Gly-AgNO_3-H_2O$ в идентичных объемных соотношениях 6/3/2 и при концентрациях исходных компонентов: Gly и $AgNO_3$ – 0.01М, ПВС – 0.01% (рис.3). Было обнаружено, что при добавлении в систему ПВС наблюдается уменьшение размеров агрегатов с ~396 до ~164 нм. Это подтверждает ранее сделанный вывод, что макромолекулы ПВС играют значительную роль в процессах самоорганизации.

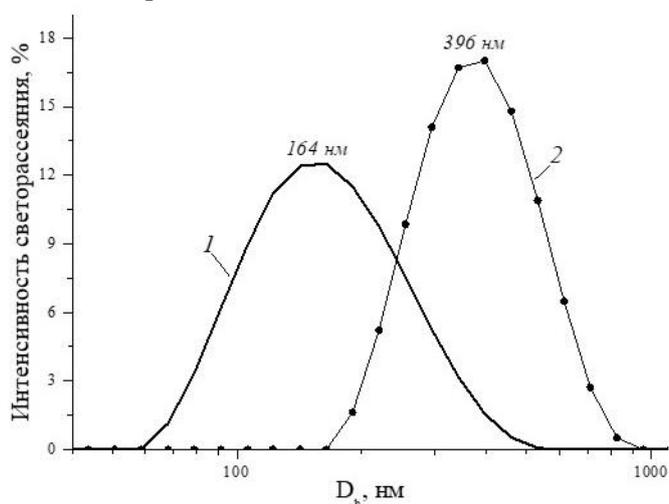


Рис. 3. Распределение частиц по размерам в растворах (метод ДСР) при объемном соотношении компонентов 6/3/2: $Gly-AgNO_3-H_2O$ (1); $Gly-AgNO_3$ -ПВС (2). Исходная концентрация водных растворов Gly и $AgNO_3$ - 0.01 М, ПВС – 0.1%

Еще одним эффективным методом исследования процессов самоорганизации в водных растворах является метод УФ спектроскопии. С помощью данного метода было исследовано влияние концентрации ПВС на процессы самоорганизации. Электронные спектры систем Gly -ПВС показаны на рис.4. Концентрацию ПВС в

образцах изменяли в интервале - от 0,1 до 10 %. Сравнение кривых 1-4 на рис.4 позволяет увидеть, что влияние ПВС на процессы самоорганизации проявляется уже в системе с концентрацией ПВС 0,1% (кривая 1). При повышении концентрации полимера в системе влияние глицина уменьшается, при этом наблюдается увеличение интенсивности в области ~217 и 280 нм, что соответствует электронным переходам $n-\sigma^*$ C-N связей и $n-\pi^*$ карбоксильных групп COO^- соответственно [11]. На основе полученных данных мы можем сделать вывод о том, что повышение концентрации полимера в системе *Gly-ПВС* нивелирует роль глицина в процессах самоорганизации. Об этом свидетельствуют едва заметные различия в спектрах систем *Gly-ПВС* (кривая 3) и *H₂O-ПВС* (10 %) (кривая 4).

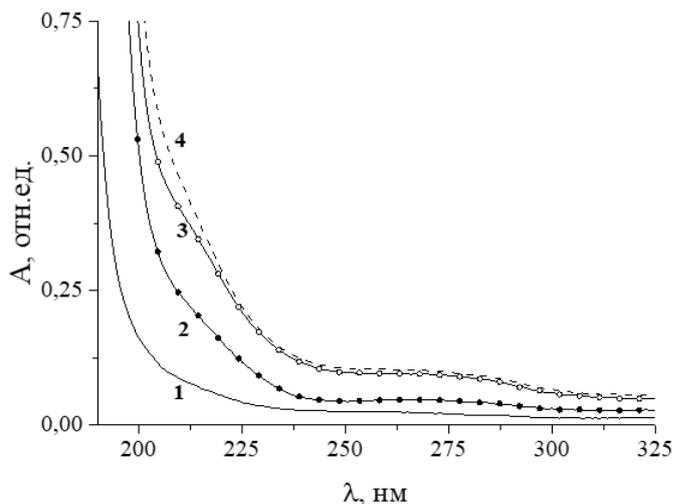


Рис. 4. Электронные спектры систем *Gly-ПВС* при объемном соотношении компонентов 1:1 при различной концентрации ПВС: 1) 0,1; 2) 5,0; 3) 10,0 %; 4) система *H₂O-ПВС* (10%)

Важную роль в процессах самоорганизации играет не только ПВС, как структурообразующий компонент, но и глицин. При этом глицин при небольших концентрациях способен оказывать воздействие на ПВС, отличное от воды, что было установлено с помощью методов вискозиметрии (рис.1) и УФ-спектроскопии (рис.5).

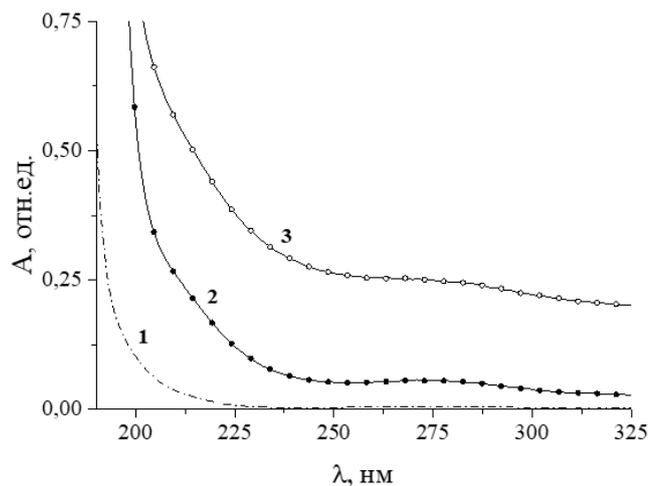


Рис. 5. Электронные спектры растворов: Gly-Н₂О при объёмном соотношении 1:1 (1); Gly-ПВС при объёмном соотношении компонентов 1:4 (2); Н₂О-ПВС при объёмном соотношении компонентов 1:4 (3). Концентрация ПВС – 5%

На рис.5 представлены электронные спектры систем *Gly-H₂O* (кривая 1) при объёмном соотношении компонентов 1:1, *Gly-ПВС* (5%) (кривая 2) и *H₂O-ПВС* (5%) (кривая 3) при объёмном соотношении компонентов 1:4. Сравнение кривых 2 и 3 наглядно демонстрирует, что введение в систему незначительного количества глицина приводит к значительным изменениям электронного спектра ПВС (5%), а именно уменьшение интенсивности полос в области 217 и 280 нм. Таким образом, можно сделать вывод, что глицин играет немаловажную роль в процессах связывания макромолекулярных структур.

Кроме того, были записаны электронные спектры для пленочных трехкомпонентных образцов *Gly-AgNO₃-ПВС* (рис. 6). Обнаружено, что в случае пленок в УФ спектре наблюдается интенсивная характеристическая полоса поглощения в области 425-430 нм, которая отвечает плазмонному резонансу свободных электронов на поверхности НЧС [12].

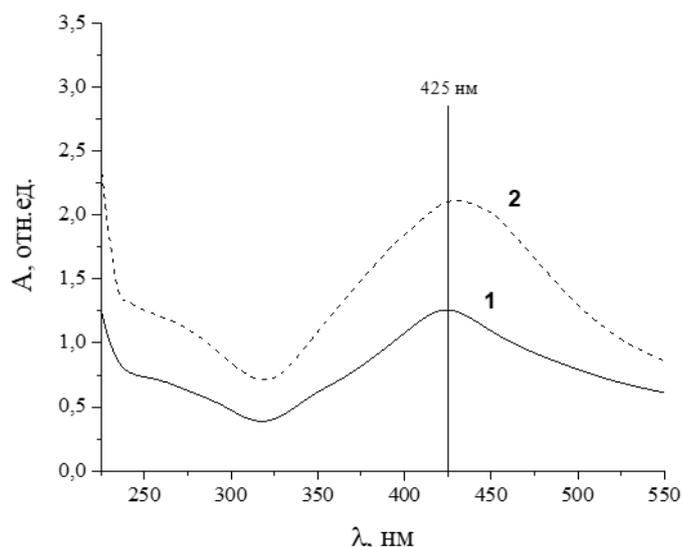


Рис. 6. Электронные спектры пленок, полученных из раствора Gly-AgNO₃-ПВС, в зависимости от соотношения компонентов: Gly-AgNO₃-ПВС – 3/3/4 (1); Gly-AgNO₃-ПВС – 2/4/4 (2). ПВС – 10%. Пленки хранились в течение двух лет в темноте

Используя данные результаты, предполагается, что в процессе формирования и хранения плёнок в темноте происходит формирование наночастиц серебра в результате восстановления в присутствии ПВС в качестве восстанавливающего и блокирующего агента [13]. Данный вывод был подтверждён в последующих исследованиях с помощью метода сканирующей электронной микроскопии с установленной системой рентгеновского дифракционного микроанализа «Oxford INCA». Характер морфологии пленки, отлитой из водного раствора системы Gly-AgNO₃-ПВС (10%): 3/3/4, демонстрируют микроснимки, полученные с помощью метода СЭМ при разном увеличении (рис. 7). Микроснимки указывают на относительно равномерное распределение НЧС в пленке и на их однородность по размерам. Присутствие небольшого количества крупных частиц в пленке не изменяет впечатления об однородности НЧС и равномерном характере их распределения.

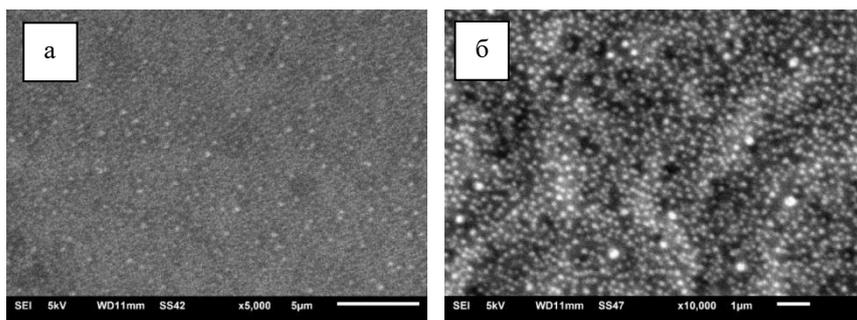


Рис. 7. Микроснимки пленочного трехкомпонентного образца Gly-AgNO₃-ПВС (10%):3/3/4, полученные с помощью метода СЭМ при различном увеличении: x5000 (а) и x1000 (б). Пленки хранились в течение двух лет в темноте

Данные элементного анализа, представленные в весовых процентах (табл.4) для микрофотографии трехкомпонентной пленки Gly-AgNO₃-ПВС (10%): 3/3/4 (рис.8.), подтверждают небольшой разброс НЧС по весу. Стандартное отклонение составляет 1.56 в весовых процентах, что может свидетельствовать о стабильности размеров образующихся частиц. Кроме того, НЧС в пленке окружены молекулами глицина и ПВС, что отражается в проявлении и других атомов (С, N, O) в табл. 4.

Таблица 4

Результаты в весовых % образец: Gly-AgNO₃-ПВС (10%): 3/3/4 (рис.8).

Спектр	С	N	O	Ag	Итого
Спектр 1	55.32	1.78	35.43	7.27	100.00
Спектр 2	63.57	1.30	24.10	10.70	100.00
Спектр 3	64.87	1.97	24.54	8.17	100.00
Спектр 4	64.89	1.71	25.47	7.58	100.00
Среднее	62.16	1.69	27.39	8.43	100.00
Станд. отклонение	4.60	0.28	5.39	1.56	
Макс.	64.89	1.97	35.43	10.70	
Мин.	55.32	1.30	24.10	7.27	

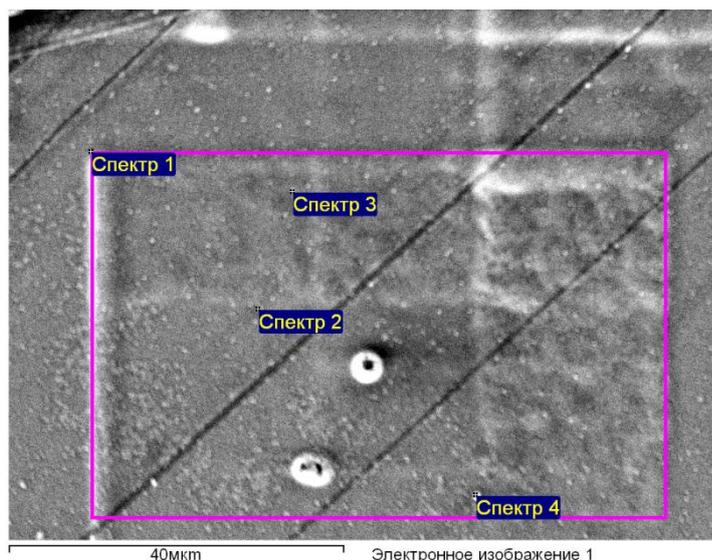


Рис. 8. Микрофотография пленки Gly-AgNO₃-ПВС (10%): 3/3/4

В ходе данной работы процессы самоорганизации и структурирования также были исследованы на пленках, состав которых указан в табл.2, с использованием Фурье-ИК спектроскопии. На рис.9 представлены НПВО спектры пленок на основе системы *Gly-ПВС*, концентрация полимера в которых составляет 5 и 10 %, а объемное соотношение компонентов 3:2; и 1:4. Несложно заметить, что в ИК спектрах исследованных образцов проявляются различия не только в области деформационных колебаний (1750-1550 см⁻¹), но и в области валентных колебаний ОН-групп (3600-3200 см⁻¹). Сравнивая спектры с соотношением компонентов 3:2 для разных концентраций полимера (рис. 9а), мы наблюдаем смещение максимума полосы поглощения, соответствующей валентным колебаниям гидроксильной группы (ν_{OH}), в низкочастотную область (от 3290 до 3269 см⁻¹) при увеличении концентрации полимера (от 5 до 10%). В НПВО спектрах образцов с соотношением компонентов *Gly-ПВС* 1:4 (рис.9в) смещения максимума полос поглощения (ν_{OH}) не наблюдается, однако ν_{OH} имеет значение 3276 см⁻¹. Из этого можно сделать вывод, что увеличение содержание Gly в системе усиливает процессы самосборки, тем более явно виден сдвиг максимума. Таким образом, при увеличении концентрации аминокислоты в образцах (рис.9а) влияние глицина на водородное связывание проявляется в большей степени, что согласуется с результатами, полученными другими методами.

Как видно на рис.9.б, в области деформационных колебаний наблюдается исчезновение полосы 1568 см⁻¹, предположительно соответствующей деформационным колебаниям ацетатной группы. На рис.9.г исчезновения этой полосы не происходит, однако можно

отметить изменение формы и сдвиг полосы от 1644 до 1634 см^{-1} , соответствующей деформационным колебаниям NH-группы.

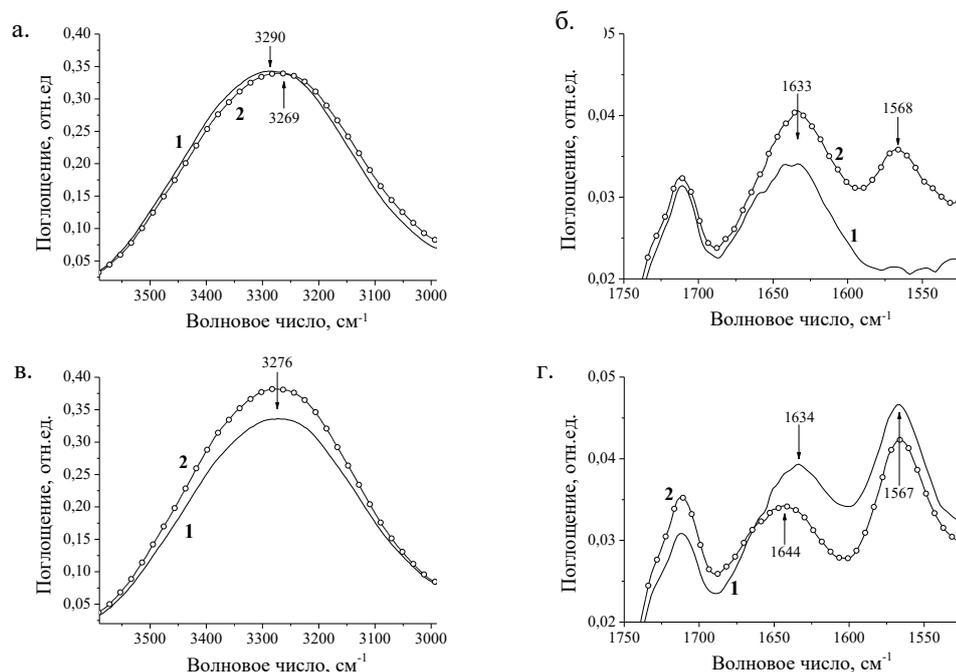


Рис. 9. ИР спектры систем Gly/ПВС с концентрацией ПВС 5% (1) и 10% (2) в области валентных (а, в) и деформационных (б, г) колебаний при соотношении компонентов: а, б – 3:2; в, г – 1:4

Данные спектров трехкомпонентных пленок Gly-ПВС- AgNO_3 были сопоставлены с данными пленок Gly-ПВС при идентичной концентрации (10%) и эквивалентном количестве ПВС. В области валентных колебаний (рис.10.а) смещения максимума полос поглощения (ν_{OH}) не наблюдается. В области же деформационных колебаний (рис.10.б) можно отметить изменение формы и сдвиг полосы от 1567 до 1521 см^{-1} , соответствующей деформационным колебаниям δCOO^- группы [14], что говорит об изменении характера взаимодействия карбоксильных групп при добавлении соли серебра.

Таким образом, на основе всего комплекса полученных данных можно заключить, что глицин, в силу наличия у него карбоксильных и аминогрупп, играет роль линкера для водородного связывания между собой макромолекул ПВС.

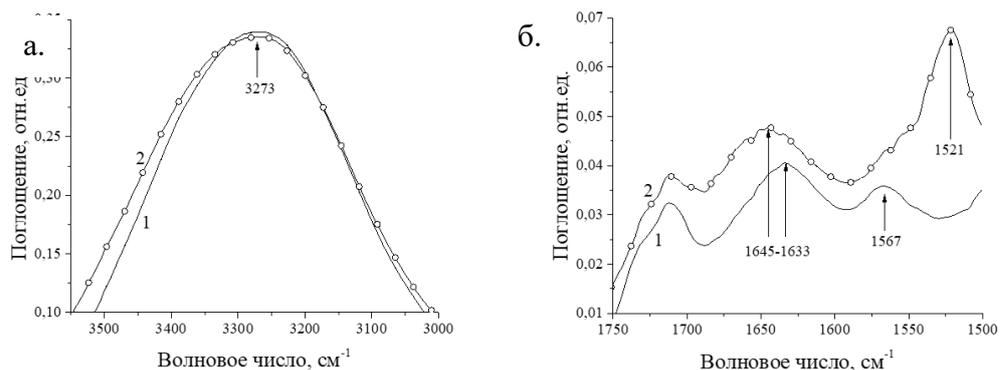


Рис. 10. ИК спектры систем Gly/ПВС (1) и Gly/AgNO₃/ПВС (2) при соотношении компонентов 3:2 и 3/3/4соответственно в области валентных (а) и деформационных (б) колебаний. Концентрация ПВС 10%

В результате выполненных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Установлено, что процессы самосборки в системах на основе Gly-AgNO₃-ПВС происходят за счет межмолекулярных взаимодействий, в которых глицин является линкером для макромолекул ПВС. Данный вывод подтвержден результатами ДСР, вискозиметрии, УФ- и ИК-спектроскопии.
2. На процессы формирования наноагрегатов в образцах (растворы и пленки) влияет концентрация и соотношение компонентов, а также время выдержки образца, что можно объяснить возникновением множественных водородных связей между функциональными группами глицина и ПВС.
3. Зафиксировано изменение окраски полученных плёнок в ходе длительного хранения при комнатной температуре без прямого попадания ультрафиолетового излучения, что обусловлено процессами восстановления серебра.
4. Анализ плёнок на основе Gly-AgNO₃-ПВС с помощью методов УФ-спектроскопии и СЭМ подтвердил образование НЧС в образцах.

Список литературы

1. Wu Z., Yan Y., Huang J. Advanced molecular self-assemblies facilitated by simple molecules. // *Langmuir*. – 2014. – V. 30. – №. 48. – P. 14375-14384.
2. Huan Ren et al. Self-assembly of amino acids toward functional biomaterials. // *Beilstein J. Nanotechnol.* – 2021. – №12. – P. 1140–1150.
3. Priyadarshi C., Ehad G. Amino Acid Based Self-assembled Nanostructures: Complex Structures from Remarkably Simple Building Blocks. // *ChemNanoMat*. – 2018. – V.4(8) – P. 1-12.
4. Пахомов П.М., Хижняк С.Д., Овчинников М.М., Комаров П.В. Супрамолекулярные гели. Тверь: Твер. гос. университет, 2011. 269 с.

5. Пахомов П.М., Овчинников М.М. и др. Супрамолекулярный гидрогель медицинского назначения на основе L-цистеина и ионов серебра. // Высокомолекулярные соединения. Серия А. – 2011. – Т.53 – №9 – С. 1574-1581.
6. Адамян А.Н., Аверкин Д.В. и др. Процессы самоорганизации в водном растворе L-цистеина и ацетата серебра под действием сульфата натрия. // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Химия – 2018. – 2. – С. 64-77.
7. Шухина К.А. Процессы самоорганизации в водных растворах глицина, нитрата серебра и поливинилового спирта / Шухина К.А., Хижняк С.Д., Пахомов П.М. // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Химия – 2019. – №4 (38). – С. 177-187.
8. Pal K., Banthia A. K., Majumdar D. K. Polyvinyl alcohol–glycine composite membranes: preparation, characterization, drug release and cytocompatibility studies // Biomedical Materials. – 2006. – V.1. – №. 2. – P. 49.
9. Shoeib T. et al. A comparison of copper (I) and silver (I) complexes of glycine, diglycine and triglycine // Physical Chemistry. Chemical Physics. – 2001. – V. 3. – №. 5. – P. 853-861.
10. Yun'an Qing, Lin Cheng et al. Potential antibacterial mechanism of silver nanoparticles and the optimization of orthopedic implants by advanced modification technologies. // Int. J. Nanomedicine. – 2018. – №13 –P. С 3311–3327.
11. Буков Н.Н., Кузнецова С.Л., Костырина Т.В. Физические методы исследования: электронная спектроскопия. Краснодар: КубГУ, 2006. 47 с.
12. Смирнов А.В., Иванов А.Л. и др. Плазмонный резонанс в наноструктурах серебро-никель // Вестник ЧГУ. – 2010. – №3. – С. 15-18.
13. Sagitha P., Sarada K. et al. One-pot synthesis of poly vinyl alcohol (PVA) supported silver nanoparticles and its efficiency in catalytic reduction of methylene blue. // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. – 2016. – V.26. – №10. – P. 2693-2700.
14. Socrates G. Infrared and Raman characteristic group frequencies: tables and charts. – John Wiley & Sons, 2004.

Об авторах:

СМИРНОВА Ксения Александровна – магистр химико-технологического факультета ФГБОУ ВО «Тверской государственной университет» (170100, Тверь, ул. Желябова, 33), e-mail: shuhina.kseniya@yandex.ru

ХИЖНЯК Светлана Дмитриевна – кандидат химических наук, заведующая лабораторией спектроскопии ЦКП ФГБОУ ВО «Тверской государственной университет» (170100, Тверь, ул. Желябова, 33), e-mail: sveta_khizhnyak@mail.ru

ИВАНОВА Александра Ивановна – кандидат физико-математических наук, заведующая лабораторией электромагнетизма ЦКП ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170100, Тверь, ул. Желябова, 33), e-mail: Ivanova.AI@tversu.ru

ПАХОМОВ Павел Михайлович – доктор химических наук, профессор, зав. кафедрой физической химии ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170100, Тверь, ул. Желябова, 33), e-mail: pavel.pakhomov@mail.ru

SELF-ORGANIZATION PROCESSES AND PRODUCTION OF FILMS WITH SILVER NANOPARTICLES FROM AQUEOUS GLYCINE-SILVER SOLUTION WITH POLYVINYL ALCOHOL

K.A. Smirnova, S.D. Khizhnyak, A.I. Ivanova, P.M. Pakhomov

Tver State University, Tver

Using dynamic light scattering (DLS), IR and UV spectroscopy, self-assembly processes in systems based on low-concentrated aqueous solutions of glycine, silver nitrate, and polyvinyl alcohol (PVA) are studied. GSS-PVA films were obtained by casting from solution. In the process of film formation, a manifestation of yellow color was found and its intensification during film storage, which is due to the processes of silver reduction in the form of nanoparticles.

Keywords: *glycine, polyvinyl alcohol, silver nitrate, aqueous solutions, self-assembly, film deposition from solution, silver nanoparticles.*

Дата поступления в редакцию: 19.05.2023.
Дата принятия в печать: 13.06.2023.