

УДК 541:64

СТАБИЛИЗАЦИЯ ЧАСТИЦ ЗОЛЕЙ ЙОДИДА СЕРЕБРА АЦЕТАТОМ И N-СУКЦИНИЛОМ ХИТОЗАНА

© 2024 г. М. В. Базунова^{1*}, В. В. Чернова¹, Е. И. Кулиш¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
“Уфимский университет науки и технологий”, Уфа, Россия

*E-mail: mbazunova@mail.ru

Поступила в редакцию 26.09.2023;
после доработки 09.11.2023;
принята в печать 20.11.2023

Статья посвящена изучению закономерностей стабилизации коллоидных частиц золей йодида серебра AgI полимерными стабилизаторами — ацетатом хитозана АХТЗ и натриевой солью N-сукцинила хитозана СХТЗ. Актуальность работы обусловлена тем, что создание устойчивых полимер-коллоидных дисперсий на основе водорастворимых производных хитозана и неорганических коллоидных частиц, обладающих антисептическими свойствами, является одним из способов создания гибридных гелеобразных и пленочных материалов биомедицинского назначения. Путем измерения электрокинетического потенциала доказано, что в присутствии поликатиона ацетата хитозана с концентрацией 0.1 мас. % адсорбция одноименно заряженных макроионов на частицах дисперсной фазы приводит к повышению устойчивости золя AgI с положительно заряженными коллоидными частицами. В присутствии полианиона (натриевой соли N-сукцинила хитозана) имеют место перезарядка золя AgI с положительно заряженными частицами и возрастание электрокинетического потенциала золя AgI с отрицательно заряженными частицами с одновременным повышением агрегативной устойчивости золей. С помощью потенциометрического титрования показано, что повышение агрегативной устойчивости золей йодида серебра при более высоких концентрациях АХТЗ и СХТЗ хитозана больше связано не с адсорбцией макромолекул на поверхности золя, а с повышением вязкости раствора при увеличении концентрации полимера, т.е. с возникновением структурно-механического барьера по Ребиндеру. Данные оптической спектроскопии и вискозиметрии свидетельствуют о том, что смешение золей AgI с растворами полимеров АХТЗ и СХТЗ сопровождается образованием устойчивых полимер-коллоидных дисперсий, компоненты которых взаимодействуют между собой, а не представляют собой механические смеси раствора полимера и коллоидного раствора.

Ключевые слова: полисахарид, лиофобные золи, полимер-коллоидные дисперсии.

DOI: 10.31857/S0207401X24090099

1. ВВЕДЕНИЕ

Широко известно, что коллоидное серебро и его соединения, в частности нитрат серебра, являются хорошими антимикробными препаратами и давно применяются в медицине [1]. В настоящее время особое внимание уделяется разработке разнообразных лекарственных форм (растворов, суспензий, гелей, мазей, ранозаживляющих покрытий) на основе коллоидного серебра и его соединений с полимерными добавками. В таких композициях роль полимерного компонента не ограничивается ролью связующего или стабилизатора коллоидных частиц. Также полимерный компонент выступает в роли пролонгатора и может обладать собственной биологической активно-

стью, например бактериостатической, что существенно сказывается на эффективности и области применения подобных препаратов. Так, комплексы коллоидного серебра с полисахаридами (крахмал, декстрин) были заявлены в качестве антисептических средств задолго до появления на рынке сульфадиазина серебра [2]. Или, например, предшественниками хорошо известного антисептического препарата сульфадиазин серебра были комплексы коллоидного серебра с крахмалом и декстрином [2]. Хорошо известная мазь “Гидропент”, применяемая для лечения инфицированных ран разной этиологии, содержит коллоидное серебро, поли-N-винилпирролидон и гель полиэтиленоксида-1500 в качестве основы [3, 4].

В последнее время широкое распространение получают готовые перевязочные материалы, содержащие коллоидное серебро [5], которые обладают улучшенными антимикробными и ранозаживляющими свойствами и при этом не изменяют флору более глубоких тканей [6–8]. Дальнейшее развитие функциональности перевязочных материалов, согласно Райту с соавт. [9], заключается в придании им дополнительных свойств, отличных от антимикробных, с целью ускорения заживления ран. Например, предложен перевязочный материал, который наряду с антимикробными свойствами способен удалять из зоны обработки продукты метаболизма бактерий и нейтрализует эндотоксины, образующиеся при гибели клеток [10]. С этой точки зрения особые перспективы открываются при использовании для стабилизации коллоидных частиц серебра и его соединений хитозана (ХТЗ) и его производных, например N-сукцинила хитозана, так как данные полисахариды при создании современных ранозаживляющих покрытий обладают очень ценными свойствами: биосовместимостью с тканями организма, бактериостатичностью, способностью к биodeградации и сорбции ранеотделяемой жидкости, и к тому же имеют удовлетворительные геле- и пленкообразующие свойства [11–18].

Применение галогенидов серебра в качестве антисептических препаратов в токсикологическом плане имеет ряд существенных преимуществ перед водорастворимыми солями серебра. Если разовая доза для взрослого человека в 10 г AgNO_3 (6.35 г в пересчете на серебро) оценивается ВОЗ как летальная (для человека самая низкая доза, вызывающая смерть (LD_{50}) равна 29 и минимальная доза, вызывающая гибель всех испытуемых (LD_{100}) равна 143 мг/кг [15]), то в случае йодида серебра средняя летальная доза, при которой погибает половина подопытных животных (LD_{50}) составляет >10 000 мг/кг (крысы орально) или >1000 мг/кг (мышь внутрибрюшинно). У йодида серебра также отсутствует канцерогенное и мутагенное действия. Вообще, по сравнению с другими галогенидами, AgI чаще применяется в различных сферах техники и технологии, например, для производства кинофотоматериалов, при управлении погодными явлениями и др.

В связи с вышесказанным, целью данной работы было изучение закономерностей стабилизации коллоидных частиц золей йодида серебра

полимерными стабилизаторами – ацетатом хитозана (АХТЗ) и натриевой солью N-сукцинила хитозана (СХТЗ).

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Положительно и отрицательно заряженные частицы золя (AgI -1 и AgI -2, соответственно) получали по известной методике [19] путем смешения равно концентрированных (0.01 моль/л) растворов нитрата серебра с йодидом калия в объемном соотношении 10:7 и 7:10 соответственно. В качестве полимерных стабилизаторов частиц золей использовали АХТЗ, полученный из уксуснокислого раствора ХТЗ со степенью деацетилирования 82%, М.м.=80 000 а.е.м. (ТУ 9289-067-00472124-03), и СХТЗ с М.м.=190 000 а.е.м. со степенью замещения по аминок группам 75% производства ЗАО “Биопрогресс” (г. Щелково, Россия).

Для получения полимер-коллоидных дисперсий (ПКД) AgI – АХТЗ/СХТЗ смешивали равные объемы раствора АХТЗ или СХТЗ и золя.

Оптическую плотность золей и ПКД на их основе измеряли на концентрационном фотоколориметре КФК-2МП в диапазоне длин волн $\lambda = 340\text{--}750$ нм с шагом 40 нм при $T = 25^\circ\text{C}$. Для сравнительной характеристики исследуемых систем использовали значение оптической плотности при длине волны 540 нм. Средняя ошибка измерения оптической плотности составляет 10%.

Для определения среднего радиуса (r , нм) и числа частиц дисперсной фазы в единице объема (N , $1/\text{см}^3$) использовали метод спектра мутности [20,21].

Определение электрокинетического (ξ)-потенциала и электрофоретической подвижности частиц золей йодида серебра и ПКД проводили методом электрофореза по известной методике [22].

Взаимодействие АХТЗ и СХТЗ с коллоидными частицами AgI изучали потенциометрическим методом с использованием ионселективного электрода марки ЭЛИС-131Ag, обратимого к йодид-ионам. В качестве электрода сравнения использовали хлорсеребряный электрод марки ОР-080Р. Измерения проводили на потенциометре ОР-264/1 при температуре $(25 \pm 0.1)^\circ\text{C}$. Температуру поддерживали с использованием термостата УТУ 4.

Сигнал индикаторного электрода связан с активностью, а не с концентрацией определяемого иона, в нашем случае — I^- . Для поддержания постоянной ионной силы, а следовательно, и активности ионов все растворы готовили с использованием инертного электролита (0.1 М KNO_3).

Для каждого опыта брали по 7 мл раствора нитрата серебра и 10 мл раствора йодида калия одинаковой нормальности, помещали в колбу на 50 мл и доводили объем до метки раствором фоновое электролита.

При изучении взаимодействия золя AgI с полисахаридами брали 7 мл раствора нитрата серебра и 10 мл раствора йодида калия одинаковой нормальности, помещали в колбу на 50 мл, добавляли навеску АХТЗ или СХТЗ в количестве, необходимом для получения массовой доли полимера в 0.01, 0.1, 0.5, 1.0% и оставляли полученную смесь на 3 сут для набухания. Далее раствор доводили до 50 мл фоновым электролитом. Перед началом работы индикаторный электрод активировали путем повторяемых несколько раз измерений в стандартных растворах с различной концентрацией йодид-ионов. Такие измерения проводили до тех пор, пока отклик не стал быстрым и воспроизводимым. Равновесие устанавливалось в течение одной минуты. Градуировку электрода проводили по четырем растворам KI , полученным последовательным разбавлением 0.1 М раствора KI раствором KNO_3 . В диапазоне концентраций KI от 0.00002 до 0.02 моль/л наблюдается линейная зависимость потенциала индикаторного электрода (E) от активности йодида калия (pC). Тангенс угла наклона прямой на графике в координатах E - pC несколько отличается от теоретической величины, составляющей 0.059 и равен 0.061, т.е. наблюдаемая зависимость является гипернёрнстовской. Так как значение нернстовского коэффициента отличается от теоретической величины только на 2 мВ, электрод можно считать обратимым к йодид-ионам [23].

Динамическую вязкость определяли с помощью вискозиметра Уббелюде при $(25.0 \pm 0.1)^\circ C$. Значения относительной вязкости ($\eta_{отн}$) рассчитывали как отношение времени истечения раствора полимера к времени истечения растворителя. Удельную вязкость ($\eta_{уд}$) рассчитывали по формуле:

$$\eta_{уд} = 1 - \eta_{отн}.$$

Для расчета значений характеристической вязкости растворов полимеров $[\eta]^*$ использовали подход Баранова [23], который позволяет исключить эффект полиэлектролитного набухания. Значение вязкости в каждой точке кривой зависимости $\ln \eta_{отн}$ от концентрации полимера в растворе рассматривается как “текущее значение характеристической вязкости” [24], поэтому справедливо равенство:

$$[\eta]^* = \frac{d \ln \eta_{отн}}{dC}. \quad (1)$$

При $C \rightarrow 0$ величина $[\eta]^*$ соответствует начальному наклону зависимости $\ln(\eta_{отн})$ от C и совпадает с величиной характеристической вязкости $[\eta]$, описывающей поведение изолированной макромолекулы. Относительная погрешность измерения не превышала 5%.

Для подтверждения протекания агрегационных процессов использовали следующие рассуждения. При описании вязкостных свойств разбавленных растворов, как правило, исходят из линейной зависимости приращения вязкости от концентрации полимерного раствора. Однако в случае полярных полимеров существует вероятность протекания обратимых агрегационных процессов, которые могут иметь место не только в области полуразбавленных, но даже и в области разбавленных растворов. В этом случае вклад в вязкость вносят не отдельные частицы с объемом V_0 , а их агрегаты, объем которых $V(n)$ зависит не только от числа составляющих его частиц n , но и от плотности их упаковки, характеризуемой фрактальной размерностью D :

$$V(n) = V_0 \cdot n^{3/D}, \quad (2)$$

В результате неплотной упаковки частиц в агрегате их вклад в вязкость начинает зависеть от концентрации нелинейно:

$$\Delta \eta \sim \eta_0 C^\delta, \quad \delta > 1, \quad (3)$$

Следовательно, любое отклонение показателя δ от единицы свидетельствует о том, что данная система является структурированной. При этом обработка экспериментальных зависимостей удельной вязкости полимер-коллоидных дисперсий от концентрации в двойных логарифмических координатах позволяет определить степенной показатель δ в зависимости (3) и фактически определить аналогично “текущему значе-

нию характеристической вязкости” и “текущее значение агрегированности системы” [24].

За время потери устойчивости золя, τ , принимали время, по достижении которого ПКД претерпевает фазовое разделение, выражающееся в уменьшении оптической плотности системы вследствие осветления верхнего слоя.

3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Агрегативная устойчивость ПКД на основе систем лиофобных золь и водорастворимых полимеров, образующих защитные экраны вокруг неорганических наночастиц, зависит от размера частиц золя, распределения частиц по размерам и числа частиц. В работе [25] проведено определение условий получения положительно и отрицательно заряженных золь йодида серебра с размерами и числовой концентрацией частиц, обеспечивающих возможность применения их в качестве компонентов гибридных материалов медицинского назначения, и установлено, что в качестве оптимальной можно рассматривать систему, образующуюся при смешении исходных растворов KI и AgNO_3 с концентрацией 0.01 моль/л при объемном соотношении, равном 10:7 или 7:10. Именно в данном случае получают частицы с небольшим размером, входящим в интервал истинно-коллоидных систем и обеспечивающим максимально возможную в данных условиях поверхность раздела фаз.

Повышение устойчивости золя AgI-1 с положительно заряженными коллоидными частицами в присутствии поликатиона АХТЗ связано, очевидно, с адсорбцией одноименно заряженных макроионов на частицах дисперсной фазы, сопровождающейся увеличением заряда и потенциала коллоидных частиц. О возможности данного механизма стабилизации говорят как литературные данные [26], так и прямой эксперимент по измерениям электрокинетического потенциала (табл. 1).

Как видно из данных табл. 1, добавление к золю йодида серебра с положительно заряженными частицами поликатиона АХТЗ приводит к закономерному увеличению значения электрокинетического потенциала. Одновременно добавление АХТЗ приводит и к гидрофилизации поверхности частиц золя и связанному с этим повышению устойчивости коллоидной системы.

Таблица 1. Значения ξ -потенциалов и площади межфазной поверхности золь AgI

Золь	Полимерный стабилизатор	ξ -потенциал, мВ	Площадь межфазной поверхности, nm^2/cm^3
AgI-1(+)	—	+32.0	$81 \cdot 10^{16}$
	АХТЗ	+56.6	—
	СХТЗ	-36.2	—
AgI-2(-)	—	-48.1	$112 \cdot 10^{16}$
	АХТЗ	+48.9	—
	СХТЗ	-56.2	—

Примечание: Концентрация полимера в ПКД 0.1 % масс.

Однако повышение устойчивости золя в присутствии АХТЗ, связанное с превращением частиц золя из гидрофобных в гидрофильные, не должно зависеть от знака заряда коллоидных частиц. Это подтверждается результатами опытов на золе AgI-1 с отрицательно заряженными частицами. При используемых нами для стабилизации золя концентрациях полимера (0.1% и выше) добавление последнего в раствор золя приводит к резкому увеличению стабильности золя.

Очевидно, что причиной повышения агрегативной устойчивости золя йодида серебра является не только гидрофилизация поверхности гидрофобного золя, но и перезарядка коллоидных частиц (табл. 1) — в результате адсорбции макроионов частицы золя меняют свой заряд с отрицательного на положительный. Аналогичные эффекты имеют место и при использовании другого полиэлектролита — полианиона СХТЗ. При использовании данного полианиона происходит перезарядка золя AgI-1 и возрастает электрокинетический потенциал золя AgI-2 с одновременным повышением агрегативной устойчивости золь (рис. 1).

Отметим, что смешение золя AgI-1 с положительно заряженными частицами с раствором полианиона СХТЗ приводит к выпадению частиц в осадок вследствие сильного электростатического взаимодействия компонентов. Причем, при смешении противоположно заряженных золь AgI-2 с АХТЗ выпадения осадка не наблюдалось. Различие в поведении систем золь AgI-2 — раствор СХТЗ и золь AgI-2 — раствор АХТЗ (в первом случае образуется осадок, во втором — осадка не образуется) связано, очевидно, с тем, что макромолекулы СХТЗ имеют более высокий суммарный заряд за счет диссоциации групп — COONa по сравнению с диссоциацией ионогенных групп

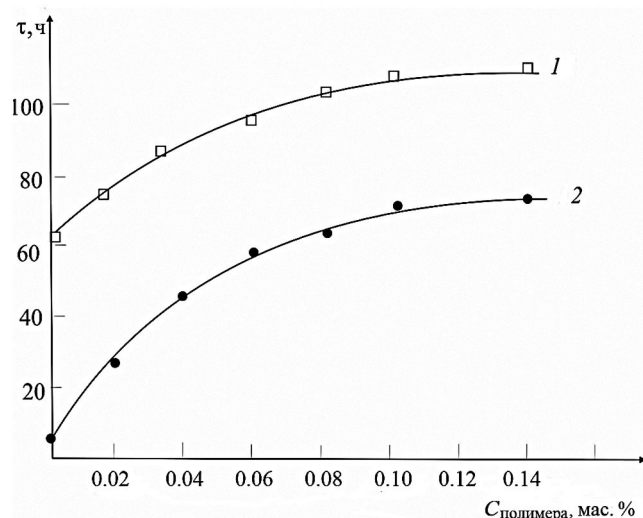


Рис. 1. Зависимость времени потери устойчивости золей AgI-1 (1) и AgI-2 (2) от концентрации АХТЗ.

ацетата хитозана. С целью понижения суммарного заряда цепей СХТЗ в предварительно приготовленные растворы полимера в воде (имеющие $pH = 7.1-7.2$) было добавлено небольшое количество 0.01 Н раствора соляной кислоты с целью доведения pH раствора до значения 6.5. В результате, при смешении «подкисленных» (с $pH = 6.5$) растворов СХТЗ с золями AgI-1, так же как и в случае стабилизации с помощью АХТЗ, наблюдалось образование устойчивых полимер-коллоидных дисперсий (рис. 2).

Адсорбция полимеров на поверхности коллоидных частиц подтверждается и данными потенциометрического метода, который часто используют при изучении равновесий в растворах. Этот метод позволяет быстро и с хорошей воспроизводимостью определять равновесные концентрации определяемых ионов.

Как видно из данных рис. 3, на котором представлена градуировочная прямая для ионселективного электрода, обратимого к ионам йода, добавление избытка йодида калия к раствору нитрата серебра для растворов всех изученных исходных концентраций KI приводит к образованию коллоидных растворов AgI и, как следствие, к значительному понижению равновесной концентрации йодида калия. При этом сохраняется линейная зависимость ЭДС ячейки от концентрации йодид-ионов и не изменяется тангенс угла наклона прямой (прямая 2). Добавление раствора АХТЗ к свежесформированному золю приводит к увеличению концентрации свободных йодид-

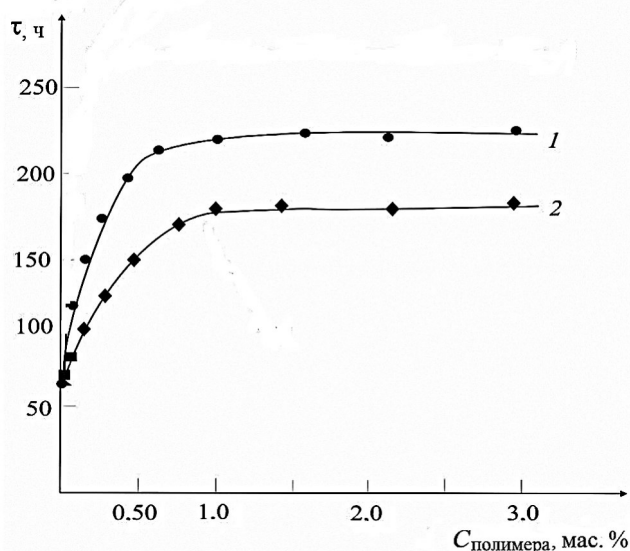


Рис. 2. Зависимость времени потери устойчивости золя AgI-1 (2) и AgI-2 (1) от концентрации СХТЗ.

ионов в растворе (прямая 3): она меньше, чем в исходном растворе KI, но больше, чем в коллоидном растворе AgI. Происходящий процесс схематично можно представить следующим образом:



Увеличение массовой доли АХТЗ в растворе до 0.1% приводит к некоторому повышению равновесной концентрации йодид-ионов. При дальнейшем увеличении массовой доли АХТЗ вид прямых практически не изменяется. Поскольку в эксперименте по изучению агрегативной устойчивости полимер-коллоидной дисперсии значение концентрации, при которой происходила потеря седиментационной устойчивости ПКД, превышало значение 0.1% (рис. 1 и 2), можно предположить, что повышение агрегативной устойчивости при более высоких концентрациях полимера связано не с адсорбцией макромолекул на поверхности золя, а с повышением вязкости раствора при увеличении концентрации полимера, т.е. с возникновением структурно-механического барьера по Ребиндеру.

Аналогичный эффект имеет место и при добавлении раствора СХТЗ: равновесная концентрация йодид-ионов в растворе увеличивается. Данный факт можно объяснить только тем, что адсорбция полимера на поверхности коллоидных частиц сопровождается вытеснением йодид-ионов из адсорбционного слоя в диффузный. Так же, как и в случае АХТЗ, повышение концентрации СХТЗ

Таблица 2. Физико-химические характеристики ПКД на основе полисахаридов и золей йодида серебра

Полимер	δ			$[\eta]$		
	без золя	AgI-1	AgI-2	без золя	AgI-1	AgI-2
АХТЗ	1.0 с KNO_3	1.2 —	1.2 1.1	7.8 с KNO_3	5.5 —	5.5 6.3
СХТЗ	1.0 с KNO_3	1.1 —	1.2 1.1	3.6 с KNO_3	2.6 —	2.7 3.0

Примечание: Концентрация исходных KI и AgNO_3 — 0,01 моль/л; KNO_3 вводился в целях проведения “холостого” эксперимента в количестве, сопоставимом тому, которое образуется при формировании золя.

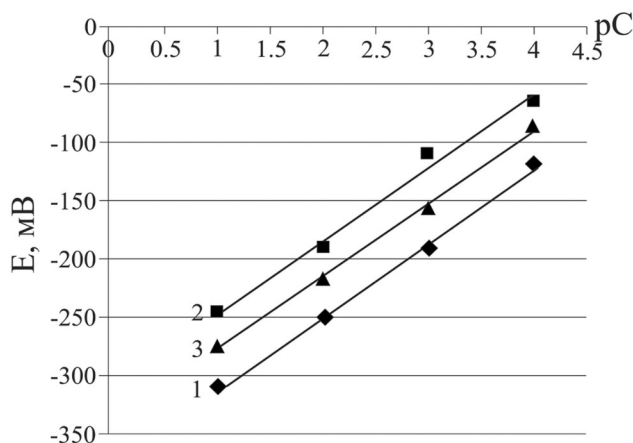


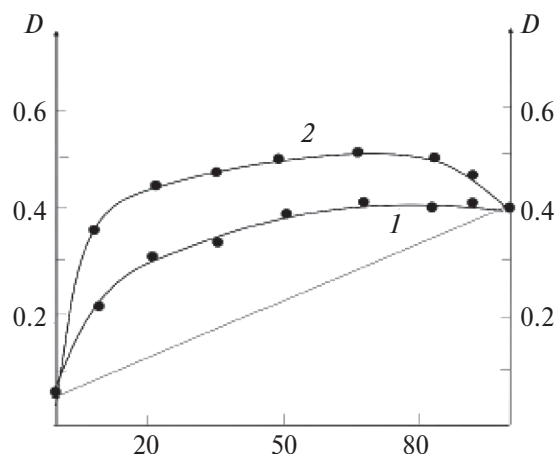
Рис. 3. Зависимость ЭДС (E) от активности йодид-ионов: 1 — раствор KI; 2 — раствор KI+ AgNO_3 ; 3 — раствор KI+ AgNO_3 +АХТЗ (концентрация полимера 1%).

выше определенного значения слабо сказывается на измерении концентрации йодид-ионов.

Тот факт, что смешение золя йодида серебра с растворами полимеров сопровождается образованием ПКД, компоненты которой взаимодействуют между собой, а не представляют собой механические смеси раствора полимера и коллоидной дисперсии, подтверждается и данными оптической спектроскопии, и данными вискозиметрии.

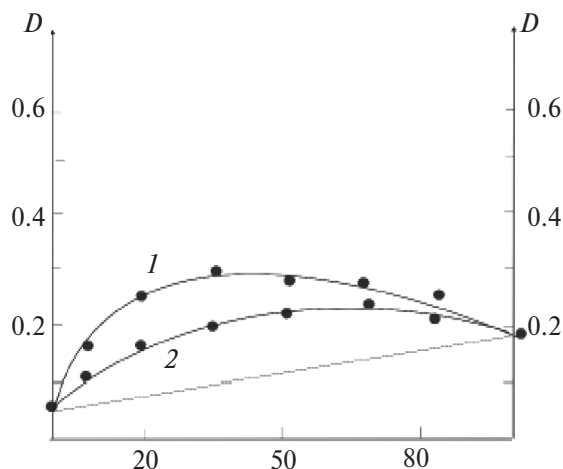
Как следует из данных табл. 2, смешение разбавленных растворов СХТЗ и АХТЗ с золем AgI приводит к увеличению степени структурированности раствора (показателя δ) и уменьшению размеров изолированных макромолекулярных клубков, о чем свидетельствует уменьшение значений характеристической вязкости полимеров. Обращает на себя внимание тот факт, что смешение растворов СХТЗ или АХТЗ в более высоких концентрациях с золями AgI приводит к увеличению значений оптической плотности ПКД выше аддитивных значений (рис. 4 и 5).

Таким образом, все эти изменения (показателя δ , значений $[\eta]$ и значений оптической плотности) свидетельствуют об образовании ПКД,



Содержание золя в растворе полимера, об. %

Рис. 4. Зависимость оптической плотности (D) водных дисперсий АХТЗ — золь AgI-1 (1) и СХТЗ — золь AgI-1 (2) от объемного соотношения исходных компонентов смеси. Концентрация полимера в растворе составляла 1%.



Содержание золя в растворе полимера, об. %

Рис. 5. Зависимость оптической плотности (D) водных дисперсий АХТЗ — золь AgI-2 (1) и СХТЗ — золь AgI-2 (2) от объемного соотношения исходных компонентов смеси. Концентрация полимера в растворе составляла 1%.

вызванном специфической адсорбцией многовалентного иона (полимера) на поверхности частиц золя.

4. ВЫВОДЫ

1. С помощью измерений электрокинетического потенциала доказано, что в присутствии поликатиона АХТЗ с концентрацией 0.1% адсорбция одноименно заряженных макроионов на частицах дисперсной фазы приводит к повышению устойчивости золя AgI с положительно заряженными коллоидными частицами. В присутствии полианиона СХТЗ происходит перезарядка золя AgI с положительно заряженными частицами и возрастает дзета-потенциал золя AgI с отрицательно заряженными частицами с одновременным повышением агрегативной устойчивости золей.

2. Результаты потенциометрического титрования показывают, что повышение агрегативной устойчивости золей йодида серебра при более высоких концентрациях АХТЗ и СХТЗ больше связано не с адсорбцией макромолекул на поверхности золя, а с повышением вязкости раствора при увеличении концентрации полимера, т.е. с возникновением структурно-механического барьера по Ребиндеру.

3. Данные оптической спектроскопии и вискозиметрии свидетельствуют о том, что смешение золей йодида серебра с растворами полимеров АХТЗ и СХТЗ сопровождается образованием ПКД, компоненты которой взаимодействуют между собой, а не представляют собой механические смеси раствора полимера и коллоидной дисперсии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щербаков А.Б., Корчак Г.И., Сурмашева Е.В., Скопороход И.М., Михиенкова А.И. // Фармацевт. журн. 2006. №5. С. 45; https://www.researchgate.net/publication/321754788_Preparaty_serebra_vcera_segodna_i_zavtra
2. Rasulov B.A., Jun L.W., Davranov K.D. Microbiol. 2017. V. 86. № 2. P. 197; <https://doi.org/10.1134/S0026261717020175>
3. Сидельковская Ф.П. Химия N-винилпирролидона и его полимеров. М.: Наука, 1970.
4. Блажитко Е.М., Родионов П.П., Бугайченко Н.В. и др. Мазь "Гидропент" для лечения инфицированных ран: Патент 2233652. Россия // Б.И. № 22. 2004. С. 33.
5. O'Neill M.A., Vine G.J., Beezer A.E., et al. // Intern. J. Pharm. 2003. V. 263. I. 1. P. 61; doi: 10.1016/s0378-5173(03)00361-2
6. Furr J.R., Russell A.D., Turner T.D., Andrews A. // J. Hospital Infection. 1994. V. 27. Issue. 3. P. 201; [https://doi.org/10.1016/0195-6701\(94\)90128-7](https://doi.org/10.1016/0195-6701(94)90128-7)
7. Lansdown A.B., Jensen K., Jensen M.Q. // J. Wound Care. 2003. V. 12. Issue 6. P. 205; <https://doi.org/10.12968/jowc.2003.12.6.26507>
8. Thomas S., McCubbin P. // J. Wound Care. 2003. V. 12. Issue 6. P. 101; <https://doi.org/10.12968/jowc.2003.12.3.26477>
9. Wright J.B., Lam K., Olson M.E., Burrell R.E. // Wounds Compendium Clinical Res. Practice. 2003. V.15. Issue 5. P. 133; https://www.researchgate.net/publication/285942780_Is_antimicrobial_efficacy_sufficient_A_question_concerning_the_benefits_of_new_dressings
10. Müller G., Winkler Y., Kramer A. // J. Hospital Infection. 2003. V. 53. Issue 3. P. 211; <https://doi.org/10.1053/jhin.2002.1369>
11. Сливкин А.И., Лапенко В.Л., Арзамасцев А.П., Болгов А.А. // Вест. Воронеж. гос. универ. Сер.: Химия. Биология. Фармация. 2005. № 2. С. 73; <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/chembio/2006/01/2006-01-44.pdf>
12. Шурушина А.С., Галина А.Р., Кулиш Е.И. // Хим. физика. 2022. Т. 41. № 4. С. 63; <https://doi.org/10.31857/S0207401X22040082>
13. Шурушина А.С., Галина А.Р., Лаздин Р.Ю., Чернова В.В., Кулиш Е.И. // Хим. физика. 2021. Т. 40. № 7. С. 58; <https://doi.org/10.31857/S0207401X21070098>
14. Базунова М.В., Мустакимов Р.А., Кулиш Е.И. // Хим. физика. 2021. Т. 40. № 9. С. 72; <https://doi.org/10.31857/S0207401X21090028>
15. Базунова М.В., Мустакимов Р.А., Кулиш Е.И. // Хим. физика. 2023. Т. 42. № 1. С. 55; <https://doi.org/10.31857/S0207401X23010028>
16. Bazunova M.V., Lazdin R.Yu., Elinson M.R. et al. // Chimica Techno Acta. 2022. V. 9. № 1. P. 20229108; <https://doi.org/10.15826/chimtech.2022.9.1.08>
17. Лаздин Р.Ю., Чернова В.В., Базунова М.В., и др. // Журн. прикл. химии. 2020. Т. 93 № 1. С. 74; <https://doi.org/10.31857/S0044461820010077>
18. Базунова М.В., Лаздин Р.Ю., Елинсон М.А. и др. // Бутлер. сообщ. 2019. Т. 60. № 10. С. 42; ROI: jbc-01/19-60-10-42
19. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии / Под ред. Фролова Ю. Г. и Гродского А.С. М.: Химия, 1986.
20. Кленин В.И. Термодинамика систем с гибкоцепными полимерами. Саратов: Изд-во Саратовск. ун-та, 1995.
21. Кленин В.И., Щеголев С.Ю., Лаврушин В.И. Характеристические функции светорассеяния дисперсных систем. Саратов: Изд-во Саратовск. ун-та, 1977.
22. Варехов А.Г. Способ определения электрокинетического потенциала коллоидных частиц. Патент 1658042. Россия // Б.И. № 23. 1991. с. 24
23. Будников Г.К., Майстренко В.Н., Веселов М.Р. Основы современного электрохимического анализа. М.: Бином, 2003.
24. Баранов В.Г., Амрибахшоев Д.Х., Агранова С.А., Френкель С.Я. // Высокомолекулярные соединения. Сер. Б. 1988. Т. 30. № 5. С. 384; http://polymsci.ru/static/Archive/1988/VMS_1988_T30ks_5/VMS_1988_T30ks_5_384-386.pdf
25. Базунова М.В., Валиев Д.Р., Замула Ю.С. и др. // Хим. физика. 2017. Т. 36. № 6. С. 70. <https://doi.org/10.7868/S0207401X17060061>
26. Соломенцева И.М., Баран А.А., Куриленко О.Д. Физико-химическая механика и лиофильность дисперсных систем. Киев: Наук. думка, 1975.

STABILIZATION OF SILVER IODIDE SOLS PARTICLES BY ACETATE AND N-SUCCINYL OF CHITOSAN

M. V. Bazunova^{1*}, V.V. Chernova¹, E.I. Kulish¹

¹*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa University of Science and Technology», Ufa, Russia*

**E-mail: mbazunova@mail.ru*

The article is devoted to the study of the regularities of stabilization of colloidal particles of silver iodide sols by polymeric stabilizers – chitosan acetate and sodium salt of chitosan N-succinyl. The relevance of the work is due to the fact that the creation of stable polymer-colloidal dispersions based on water-soluble derivatives of chitosan and inorganic colloidal particles with antiseptic properties is one of the ways to create hybrid gel-like and film materials for biomedical purposes. It was proved that in the presence of chitosan acetate polycation with a concentration of 0.1% mas. adsorption of similarly charged macroions on the particles of the dispersed phase leads to an increase in the stability of the AgI sol with positively charged colloidal particles using measurements of electrokinetic potential. The AgI sol with positively charged particles is recharged and the electrokinetic potential of the AgI sol with negatively charged particles increases with a simultaneous increase in the aggregative stability of the sols in the presence of the polyanion – N-succinyl chitosan. Using potentiometric titration have shown that the increase in the aggregative stability of silver iodide sols at higher concentrations of chitosan acetate and chitosan N-succinyl is more associated not with the adsorption of macromolecules on the sol surface, but with an increase in the viscosity of solution with increasing polymer concentration (structural-mechanical barrier according to Reh binder). Data of optical spectroscopy and viscometry indicate that the mixing of silver iodide sols with solutions of polymers of chitosan acetate and N-succinyl chitosan is accompanied by the formation of stable polymer-colloidal dispersions, the components of which interact with each other, and do not represent mechanical mixtures of a polymer solution and a colloidal solution.

Keywords: polysaccharide, lyophobic sols, polymer-colloidal dispersions.

REFERENCES

1. A.B. Shcherbakov, G.I. Korchak, E. V. Surmasheva, *et al.*, *Farmaceuticheskij zhurnal* **5**, 45 (2006). (in Russian). https://www.researchgate.net/publication/321754788_Preparaty_serebra_vcera_segodna_i_zavtra
2. Rasulov B.A., Jun L.W., Davranov K.D. *Microbiol.* **86** (2), 197 (2017). <https://doi.org/10.1134/S0026261717020175>
3. F.P. Sidel'kovskaya. *Himiya N-vinilpirrolidona i ego polimerov*. M.: Nauka, 1970. (in Russian).
4. E.M. Blagitko, P.P. Rodionov, N.V. Bugajchenko, *et al.* Ointment "Hidropent" For Treatment Of Infected Wound, RU 2233652 C1 (2004). (in Russian).
5. M.A. O'Neill, G.J. Vine, A.E. Beezer, *et al.*, *Int. J. Pharm.* **263** (1), 61 (2003). [https://doi.org/10.1016/s0378-5173\(03\)00361-2](https://doi.org/10.1016/s0378-5173(03)00361-2)
6. Furr J.R., Russell, A.D., Turner T.D., Andrews A., *J. Hospital Infection.* **27** (3), 201 (1994). [https://doi.org/10.1016/0195-6701\(94\)90128-7](https://doi.org/10.1016/0195-6701(94)90128-7)
7. A.B. Lansdown, K. Jensen, M.Q. Jensen, *J. Wound Care.* **12** (6), 205 (2003). <https://doi.org/10.12968/jowc.2003.12.6.26507>
8. S. Thomas, P. McCubbin, *J. Wound Care.* **12** (6), 101 (2003). <https://doi.org/10.12968/jowc.2003.12.3.26477>
9. Wright J.B., Lam K., Olson M.E., Burrell R.E., *Wounds-A Compendium Of Clinical Research And Practice.* **15** (5), 133 (2003). https://www.researchgate.net/publication/285942780_Is_antimicrobial_efficacy_sufficient_A_question_concerning_the_benefits_of_new_dressings
10. G. Müller, Y. Winkler, A. Kramer, *J. Hospital Infection.* **53** (3), 211 (2003). <https://doi.org/10.1053/jhin.2002.1369>
11. A.I. Slivkin, V.L. Lapenko, A.P. Arzamascev, A.A. Bolgov, *Vest. Voronezh. gos. univer. Ser.: Him. Biol. Farmaciya.* **2**, 73 (2005). (in Russian). <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/chembio/2006/01/2006-01-44.pdf>
12. Shurshina A.S., Galina A.R., Kulish E.I. *Russ. J. Phys. Chem. B* **16** (2), 353 (2022). <https://doi.org/10.1134/S1990793122020221>
13. Shurshina A.S., Galina A.R., Lazdin R.Y., Chernova V.V., Kulish E.I. *Russ. J. Phys. Chem. B* **15** (4), 724. (2021). <https://doi.org/10.1134/S1990793121040096>
14. Bazunova M.V., Mustakimov R.A., Kulish E.I. *Russ. J. Phys. Chem. B* **15** (5), 888. (2021) <https://doi.org/10.1134/S199079312105002X>
15. Bazunova M.V., Mustakimov R.A., Kulish E.I. *Russ. J. Phys. Chem. B* **17** (1), 182 (2023). <https://doi.org/10.1134/S1990793123010025>
16. M.V. Bazunova, R. Yu. Lazdin, M.R. Elinson, *et al.*, *Chimica Techno Acta.* **9** (1), 20229108 (2022). <https://doi.org/10.15826/chimtech.2022.9.1.08>
17. Lazdin R.Y., Chernova V.V., Bazunova M.V., *et al.*, *Russ. J. Appl. Chem.* **93** (1), 65 (2020). <https://doi.org/10.1134/S1070427220010073>

18. *M.V. Bazunova, R.YU. Lazdin, M.A. Elinson, et al.*, Butler. soobshch. **60** (10), 42 (2019). (in Russian).
ROI: jbc-01/19-60-10-42
19. *Laboratornye raboty i zadachi po kolloidnoj himii* / Pod red. YU. G. Frolova and A.S. Grodskogo. M.: Himiya, 1986. (in Russian).
20. *V.I. Klenin*, Termodinamika sistem s gibkocepnymi polimerami. Saratov: Izd-vo Saratovskogo un-ta (1995). (in Russian).
21. *V.I. Klenin, S.YU. SHCHegolev, V.I. Lavrushin*, Harakteristicheskie funkcii svetorasseyaniya dispersnyh sistem. Saratov: Izd-vo Saratovskogo un-ta, (1977). (in Russian).
22. *Varekhov A.G.* Method for determining the electrokinetic potential of colloidal particles, RU 1658042 C1 (1991). (in Russian).
23. *G.K. Budnikov, V.N. Majstrenko, M.R. Veselov*, Osnovy sovremennogo elektrohimicheskogo analiza. M.: Binom (2003). (in Russian).
24. *Baranov V.G., Amribakhshov D.Kh., Agranova S.A., Frenkel S. Ya.*, High-molecular compounds. Ser. B **30** (5), 384 (1988) (in Russian).
http://polymsci.ru/static/Archive/1988/VMS_1988_T30ks_5/VMS_1988_T30ks_5_384-386.pdf
25. *M. V. Bazunova, D. R. Valiev, Y. S. Zamula, et al.*, Russ. J. Phys. Chem. B **11** (3), 513 (2017).
<https://doi.org/10.1134/S1990793117030174>
26. *I.M. Solomenceva, A.A. Baran, O.D. Kurilenko*, Fiziko-himicheskaya mekhanika i liofil'nost' dispersnyh sistem. Kiev: Naukova Dumka (1975). (in Russian).