



УДК 544.77

Влияние суммарного заряда макромолекул хитозана и сукцинила хитозана на устойчивость частиц золей йодида серебра в полимер-коллоидных дисперсиях на их основе



М. В. Базунова, А. А. Базунова, Е. С. Хлобыстова, Е. И. Кулиш

Базунова Марина Викторовна, кандидат химических наук, доцент кафедры высокомолекулярных соединений и общей химической технологии, Башкирский государственный университет, mbazunova@mail.ru

Базунова Анна Андреевна, студент кафедры высокомолекулярных соединений и общей химической технологии, Башкирский государственный университет, sport-bsu@mail.ru

Хлобыстова Елена Сергеевна, студент кафедры высокомолекулярных соединений и общей химической технологии, Башкирский государственный университет, khlobystovalena@yandex.ru

Кулиш Елена Ивановна, доктор химических наук, заведующий кафедрой высокомолекулярных соединений и общей химической технологии, Башкирский государственный университет, onlyalena@mail.ru

Получение устойчивых полимер-коллоидных дисперсий на основе водорастворимых полимеров и неорганических коллоидных частиц, например золя йодида серебра, с последующим удалением дисперсионной среды является одним из способов создания гибридных материалов биомедицинского назначения (пленок, трехмерных матриц). Данная работа посвящена изучению возможности повышения стабильности полимер-коллоидных систем на основе золей йодида серебра и полисахаридов хитозана и сукцинила хитозана за счет снижения суммарного заряда макромолекул. Показано, что при использовании в качестве полимерных стабилизаторов частиц золей йодида серебра частично нейтрализованных хитозана и сукцинила хитозана наблюдается агрегативная устойчивость полимер-коллоидной системы, об этом свидетельствует отсутствие увеличения размеров частиц дисперсий в течение достаточно длительного времени. Определено, что уменьшение заряда макромолекулы хитозана уменьшает устойчивость полимер-коллоидных дисперсий на основе хитозана и золей йодида серебра как с положительно, так и с отрицательно заряженными частицами. Установлено, что для полимер-коллоидных дисперсий сукцинил хитозана – золь йодида серебра в случае золя с отрицательно заряженными коллоидными частицами понижение заряда макромолекулы понижает устойчивость дисперсии, а в случае золя с положительно заряженными частицами – повышает.

Ключевые слова: гибридные наноконпозиты, лиофобные золи, спектр мутности, наночастицы, агрегативная устойчивость золей.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-1-32-37>

В настоящее время ультрадисперсные системы в виде коллоидных растворов, порошков и наноконпозитов широко применяются в разных областях науки и техники, таких как нанoeлектроника, охрана окружающей среды и, конечно же, медицина. Можно говорить о создании и интенсивном развитии целого ряда направлений, связанных с использованием наночастиц в биомедицинских целях [1].

Коллоидные растворы галогенидов серебра, например золи йодида серебра, могут быть использованы при получении гибридных материалов медицинского назначения и носителей для адресной доставки лекарственных средств, так как проявляют антимикробные свойства, отличаются отсутствием мутагенного действия и не оказывают дестабилизирующего действия на мембраны эритроцитов [2–4]. К сожалению, одной из основных проблем при получении лиофобных золей, к которым относятся и золи AgI, является их термодинамическая неустойчивость (особенно в присутствии электролитов) и необходимость стабилизации [5, 6]. Число возможных путей стабилизации коллоидных дисперсий невелико. Одним из основных способов является полимерная стабилизация [7]. Именно полимерные молекулы с молекулярной массой больше 10 000 а.е.м. имеют размеры, необходимые для обеспечения стабильности коллоидов. Стабилизация полимерами, по сути, обусловлена либо увеличением вязкости дисперсионной среды (диффузионный фактор), либо специфической адсорбцией макромолекул на поверхности коллоидных частиц.

По большому счету любой полимер, растворимый в дисперсионной среде, может служить эффективным стабилизирующим агентом для лиофобного золя. Но в том случае, когда предполагаемое использование синтезируемых лиофобных золей связано с медициной, к выбору полимера-стабилизатора необходимо подходить достаточно осторожно, отдавая предпочтение тем из них, которые являются био- и гемосовместимыми, например полисахаридам. Так, очень перспективными полимерными стабилизаторами



коллоидных частиц являются полисахарид хитозан (ХТЗ) и его производные, например сукцинил хитозана (СХТЗ). Преимуществами ХТЗ и его производных при создании материалов медицинского назначения являются биосовместимость с живыми тканями, близость по функциональным качествам к компонентам дермы *in vivo*, бактериостатичность, способность к биодеградации и др. [8–10].

К факторам, определяющим принципиальную возможность получения коллоидных частиц лиофобных золей с узким распределением частиц по размерам и длительной устойчивостью к агрегации при полимерной стабилизации, относятся: длина цепей полимера, соотношение концентрации макромолекул и наночастиц, гидрофильно-гидрофобный баланс цепей полимера при синтезе золей в водной среде и термодинамическое качество растворителя по отношению к полимеру [5].

При оценке стабилизирующего действия полимеров, имеющих ионогенную природу, помимо перечисленных факторов необходимо учитывать большой вклад в стабилизацию заряженных частиц лиофобных золей электростатического фактора. Макромолекулы ХТЗ и СХТЗ имеют достаточно высокий суммарный заряд за счет диссоциации $-\text{NH}_3^+\text{COO}^-$ групп в случае уксуснокислого раствора ХТЗ и $-\text{COONa}$ групп в растворе СХТЗ.

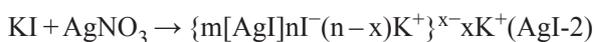
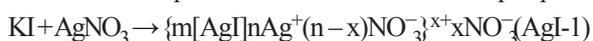
Таким образом, целью данной работы является изучение возможности повышения стабильности полимер-коллоидных систем на основе золей йодида серебра и полисахаридов ХТЗ и СХТЗ за счет снижения суммарного заряда макромолекул.

Экспериментальная часть

В работе использовали полисахариды ХТЗ (ТУ 9289-067-00472124-03) со степенью деацетилования 82% и М.м. = 80000 а.е.м. и СХТЗ М.м. = 247 кДа и степенью замещения 75% (ТУ 9284-027-11734126-08) производства ЗАО «Био-прогресс» (г. Щелково).

Положительно и отрицательно заряженные частицы золя (AgI-1 и AgI-2 соответственно) получены смешением равно концентрированных (0,001 моль/л) растворов нитрата серебра с йодидом калия в объемном соотношении 10 : 7 и 7 : 10 соответственно [11].

Схема образования золей йодида серебра:



С целью понижения суммарного заряда цепей СХТЗ были приготовлены 1%-ные растворы СХТЗ в 0,005–0,01 Н соляной кислоте.

Для понижения суммарного заряда цепей ХТЗ в 0,01 Н раствор гидроксида натрия была добавлена концентрированная уксусная кислота так, чтобы ее концентрация составила 1% (без учета нейтрализации), затем добавлена навеска ХТЗ так, чтобы его концентрация составила 1%.

Для получения полимер-коллоидных дисперсий (ПКД) AgI – ХТЗ и AgI – СХТЗ смешивали равные объемы полученных частично нейтрализованных растворов ХТЗ или СХТЗ и золя.

Оптическую плотность золей и ПКД на их основе измеряли на концентрационном фотокориметре 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 $\lambda = 540$ нм.

Для определения среднего размера частиц (r , нм) и числовой концентрации (N , $1/\text{см}^3$) частиц золей йодида серебра и ПКД использовали метод спектра мутности [12, 13]. Данный метод применяют для широкого круга задач физической химии полимеров и коллоидов, биофизики и биохимии. Метод спектра мутности заключается в том, что на основании турбидиметрических данных находится значение волнового экспонента n как тангенс угла наклона прямой в координатах $\lg D - \lg \lambda$, зависящий от размера и числа рассеивающих свет частиц. Поскольку с увеличением размеров частиц закон Релея перестает соблюдаться, при соотношении размера дисперсных частиц r и длины волны $\lambda r/\lambda > 0,1$ волновой экспонент n в уравнении $D \sim \lambda^n$ принимает значения $n < 4$. При этом в диапазоне значений $2 < n < 4$ размер частиц и их числовую концентрацию можно определить по формулам

$$r = \alpha \lambda_{\text{cp}} / 2\pi \mu_1,$$

$$N = \frac{1,26 \cdot 10^{17} \cdot \tau}{(\lambda')^2 \cdot K \cdot \alpha^2},$$

где $\tau = 2,3D_{\text{cp}}/I_{\text{кюв}}$ – мутность системы; $l_{\text{кюв}}$ – длина кюветы, см; μ_1 – показатель преломления дисперсионной среды; $\lambda' = \lambda_{\text{cp}}/\mu_1$, Å, – длина волны света в растворе, за которую берется среднее значение используемого диапазона длин волн, деленное на показатель преломления дисперсионной среды; α и K – характеристические функции светорассеяния.

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.



Результаты и их обсуждение

Получение устойчивых ПКД на основе водорастворимых полимеров и неорганических коллоидных частиц, например золя йодида серебра, с последующим удалением дисперсионной среды является одним из способов создания гибридных материалов биомедицинского назначения (пленок, трехмерных матриц). При реализации данного способа следует учесть, что, с одной стороны, чем больше межфазная поверхность, тем выше биологическая активность золя [14], или лучше совместимость компонентов в гибридном нанокompозите [15]. С другой стороны, тем ниже агрегативная устойчивость системы вследствие большой поверхностной энергии и небольшого их заряда (из-за незначительного избытка потенциалопределяющих ионов).

Несмотря на важность определения условий, позволяющих получить золи с малым средним размером частиц и высокой межфазной поверхностью, не менее важной задачей является сохранение устойчивости золя в процессе получения, функционирования или хранения материалов на их основе. Время, в течение которого система со-

храняет устойчивость, должно быть по крайней мере сопоставимо со временем формирования материала (2–3 суток). Особенно это касается положительно заряженных мицелл золя йодида серебра, антимикробная активность которого в отношении грамотрицательных микроорганизмов должна быть достаточно высока, но которые, как известно [6], характеризуются существенно меньшей стабильностью, нежели золи, мицеллы которых несут на себе отрицательный заряд.

В данной работе предпринята попытка более точного регулирования агрегативной устойчивости ПКД хитозан – золь AgI и сукцинил хитозана – золь AgI с помощью изменения pH среды, что для данных полиэлектролитов равнозначно изменению заряда макроцепей.

Полимер-коллоидные дисперсии получали смешением нейтрлизованного до pH 4,1 0,01 N раствором щелочи уксуснокислого раствора хитозана и золь AgI-1 или AgI-2. Как следует из данных, представленных в табл. 1, ПКД ХТЗ – золь AgI-1 не претерпевают фазового разделения в течение 6 суток, а ПКД ХТЗ – AgI-2 сохраняют свою устойчивость в течение еще более длительного времени.

Таблица 1 / Table 1

Характеристики дисперсной фазы золя йодида серебра и ПКД ХТЗ – золь йодида серебра
Characteristics of the dispersed phase of a silver iodide sol and polymer colloidal dispersion of chitosan-sol of silver iodide

Исследуемая система / System under study	Время потери устойчивости ПКД, ч / Polymer-colloidal dispersions stability loss time, h	Радиус частиц дисперсной фазы, нм / The radius of the particles of the dispersed phase, nm
1% ХТЗ – AgI-1	208	64
1% ХТЗ – AgI-2	225	56
1% ХТЗ – AgI-1 + 0,01 N NaOH	168	124
1% ХТЗ – AgI-2 + 0,01 N NaOH	100	89
0,01 N NaOH + AgI-1	0,5	690
0,01 N NaOH + AgI-2	1	248

Следовательно, уменьшение заряда макромолекулы увеличивает устойчивость ПКД ХТЗ – золь йодида серебра как с положительно, так и с отрицательно заряженными мицеллами.

С целью понижения суммарного заряда цепей СХТЗ были приготовлены растворы 1% СХТЗ в 0,005–0,01 N соляной кислоте, pH которых составил 6,5–5,9. Установлен интересный факт, что если в случае золя с отрицательно заряженными мицеллами понижение заряда макромолекулы понижает устойчивость ПКД СХТЗ – золь йодида серебра, то в случае золя с положительно заряженными частицами – повышает. Вероятно, изначально неустойчивая вследствие сильного электростатического взаимодействия система СХТЗ–AgI-1 становится более устойчивой при

частичной нейтрализации заряда макромолекулы. Данные по времени потери устойчивости и размерам частиц ПКД СХТЗ – золь йодида серебра приведены в табл. 2.

Из данных, представленных на рис. 1–4, следует, что при использовании в качестве полимерных стабилизаторов частиц золь йодида серебра, частично нейтрализованных ХТЗ и СХТЗ, наблюдается агрегативная устойчивость полимер-коллоидной системы – об этом свидетельствует отсутствие увеличения размеров комплексов (см. рис. 1 и 3) в течение достаточно длительного времени. Увеличение размера частиц приводит к уменьшению их числа (см. рис. 2 и 4) и поэтому значительно уменьшается межфазная поверхность.



Таблица 2 / Table 2

Характеристики дисперсной фазы золя йодида серебра и ПКД СХТЗ – золь йодида серебра
Characteristics of the dispersed phase of a silver iodide sol and polymer colloidal dispersion of succinyl chitosan-sol of silver iodide

Исследуемая система / System under study	Время потери устойчивости ПКД, ч / Polymer-colloidal dispersions stability loss time, h	Радиус, нм / The radius of the particles of the dispersed phase, nm
1% СХТЗ – AgI-1	72	63
1% СХТЗ – AgI-2	1450	59
1% СХТЗ – AgI-1+ 0,01 Н НСl	144	78
1% СХТЗ – AgI-2+ 0,01 Н НСl	288	75
0,01 Н НСl + AgI-1	0,5	1100
0,01 Н НСl + AgI-2	1	83

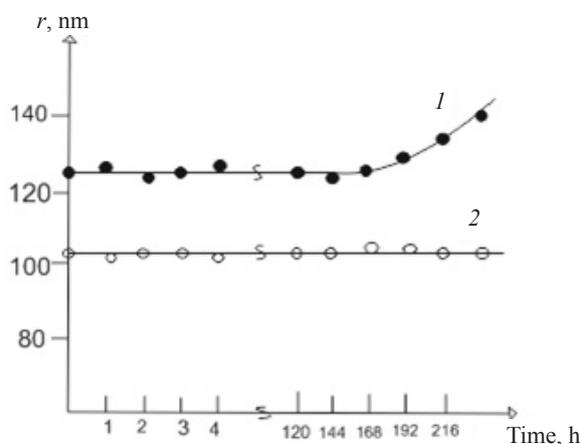


Рис. 1. Зависимость размера частиц ПКД 1% ХТЗ – AgI в присутствии 0,01 Н NaOH от времени; 1 – 1% ХТЗ – AgI-1; 2 – 1% ХТЗ – AgI-2

Fig. 1. Dependence of particle size of polymer colloidal dispersion of 1% chitosan – AgI in the presence of 0,01 Н NaOH on the time; 1 – 1% chitosan – AgI-1; 2 – 1% chitosan – AgI-2

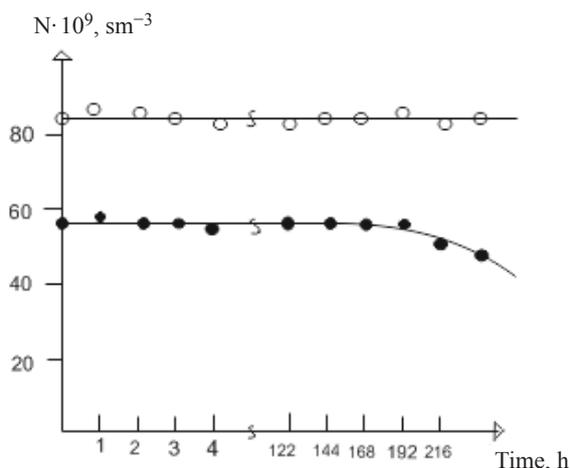


Рис. 2. Зависимость числа частиц ПКД 1% ХТЗ – AgI в присутствии 0,01 Н NaOH от времени; 1 – 1% ХТЗ – AgI-1; 2 – 1% ХТЗ – AgI-2

Fig. 2. Dependence of the number of particles of polymer colloidal dispersion of 1% chitosan – AgI in the presence of 0,01 Н NaOH on time; 1 – 1% chitosan – AgI-1; 2 – 1% chitosan – AgI-2

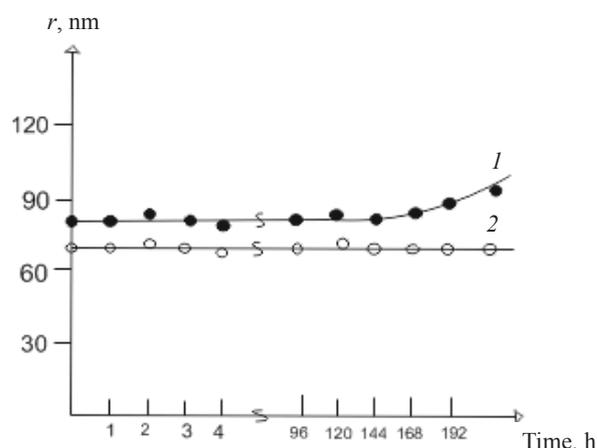


Рис. 3. Зависимость размера частиц ПКД 1% СХТЗ – AgI в присутствии 0,01 Н НСl от времени; 1 – 1% СХТЗ – AgI-1; 2 – 1% СХТЗ – AgI-2

Fig. 3. Dependence of particle size of polymer colloidal dispersion of 1% succinyl chitosan – AgI in the presence of 0,01 Н HCl on the time; 1 – 1% succinyl chitosan – AgI-1; 2 – 1% succinyl chitosan – AgI-2

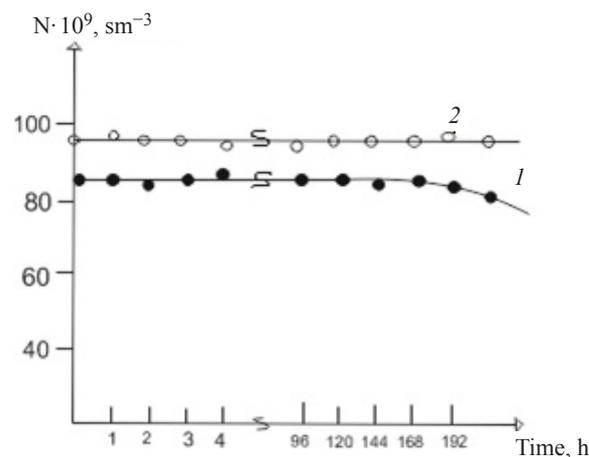


Рис. 4. Зависимость числа частиц ПКД 1% СХТЗ – AgI в присутствии 0,01 Н НСl от времени; 1 – 1% СХТЗ – AgI-1; 2 – 1% СХТЗ – AgI-2

Fig. 4. Dependence of the number of particles of polymer colloidal dispersion of 1% succinyl chitosan – AgI in the presence of 0,01 Н HCl on time; 1 – 1% succinyl chitosan – AgI-1; 2 – 1% succinyl chitosan – AgI-2



Таким образом, в данной работе установлены возможности более точного регулирования агрегативной устойчивости ПКД хитозан – золь AgI и СХТЗ – золь AgI с помощью изменения pH среды.

Выводы

1. Показано, что уменьшение заряда макромолекулы хитозана уменьшает устойчивость полимер-коллоидных дисперсий на основе хитозана и золь йодида серебра как с положительно, так и с отрицательно заряженными частицами.

2. Установлено, что для полимер-коллоидных дисперсий сукцинил хитозана – золь йодида серебра в случае золя с отрицательно заряженными коллоидными частицами понижение заряда макромолекулы понижает устойчивость дисперсии, а в случае золя с положительно заряженными частицами – повышает.

Список литературы

1. Федотчев Т. А., Оленин А. Ю., Старостин К. М., Лисичкин Г. В., Банин В. В., Шимановский Н. Л. Перспективы применения наночастиц золота, серебра и оксида железа для повышения эффективности химиотерапии опухолевых новообразований // Хим.-фарм. журн. 2015. Т. 49, № 4. С. 11–22.
2. Eliopoulos P., Mourelatos D. Lack of genotoxicity of silver iodide in the SCE assay in vitro, in vivo, and in the Ames/microsome test // Teratogenesis, Carcinogenesis, and Mutagenesis. 1998. Vol. 18, iss. 6. P. 303.
3. Capelli Christofer C. Antimicrobial compositions useful for medical applications. Patent 5, 326,567 USA. 1994.
4. Шамратова В. Г., Шарафутдинова Л. А., Хисматуллина З. Р., Базунова М. В., Кулиш Е. И., Валеев Д. Р. Сравнительная оценка влияния ультрадисперсных систем на основе комплексов хитозана и его производных с коллоидными частицами йодида серебра на структурно-функциональные свойства эритроцитов // Биомедицина. 2015. № 3. С. 69.
5. Литманович О. Е., Паписов И. М. Влияние длины макромолекул на размер частиц металла, восстановленного в полимерном растворе // Высокомолекулярные соединения А. 1999. Т. 41, № 11. С. 1824–1830.
6. Шукин Е. Д., Перцов А. В., Амелина Е. А. Коллоидная химия. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 2004. 445 с.
7. Henner Д. Стабилизация коллоидных дисперсий полимерами / под ред. Ю. С. Липатова. М.: Мир, 1986. 487 с.
8. Сливкин А. И., Лапенко В. Л., Арзамасцев А. П., Болгов А. А. Аминоглюканы в качестве биологически активных компонентов лекарственных средств (обзор за период 2000–2004 г.) // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Химия. Биология. Фармация. 2005. № 2. С. 73–87.
9. Alekseeva T. P., Bogoslovskaya O. A., Olkhovskaya I. P., Glushchenko N. N., Rakhmetova A. A., Ilina A. V., Varlamov V. P., Baitukalov T. A., Levov A. N. Wound healing potential of chitosan and N-sulfosuccinoyl chitosan derivatives // Biology Bulletin. 2010. Vol. 37, № 4. P. 339–345. DOI: 10.1134/S1062359010040023
10. Бузинова Д. А., Абрамов А. Ю., Шиповская А. Б. Свойства пленок из хитозана разных химических форм // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2011, Т. 11, вып. 2. С. 31–38.
11. Bazunova M. V., Valiev D. R., Yazlikbaeva D. Sh., Kulish E. I. The Method of Turbidity Spectrum in Determining the Size and Number of the Particles of Silver Iodide Sols // Вестн. Башкир. ун-та. 2016. Т. 21, № 1. С. 53–54.
12. Кленин В. И. Термодинамика систем с гибкоцепными полимерами. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1995. 736 с.
13. Кленин В. И., Щеголев С. Ю., Лаврушин В. И. Характеристические функции светорассеяния дисперсных систем. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. 1977. 177 с.
14. Schrand A. M., Ciftan Hens S. A., Shenderova O. A. Nanodiamondparticles: properties and perspectives for bioapplications // Critical Reviews in Solid State Materials Sciences. 2009. Vol. 34. P. 18–74.
15. Лотов В. А. Нанодисперсные системы в технологии строительных материалов и изделий // Изв. Том. политех. ун-та. 2007. Т. 311, № 3. С. 84–88.

Образец для цитирования:

Базунова М. В., Базунова А. А., Хлобыстова Е. С., Кулиш Е. И. Влияние суммарного заряда макромолекул хитозана и сукцинилла хитозана на устойчивость частиц золь йодида серебра в полимер-коллоидных дисперсиях на их основе // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2020. Т. 20, вып. 1. С. 32–37. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-1-32-37>

Total Charge of Chitosan and Chitosan Succinyl Macromolecules Effect on the Stability of Particles of Silver Iodide Sols in Polymer-Colloidal Based Dispersions

M. V. Bazunova, A. A. Bazunova, E. S. Khlobystova, E. I. Kulish

Marina V. Bazunova, <https://orcid.org/0000-0003-3160-3958>, Bashkir State University, 32 Zaki Validi St., Ufa 450076, Russia, mbazunova@mail.ru

Anna A. Bazunova, <https://orcid.org/0000-0003-2185-6492>, Bashkir State University, 32 Zaki Validi St., Ufa 450076, Russia, sport-bsu@mail.ru

Elena S. Khlobystova, <https://orcid.org/0000-0002-4876-9148>, Bashkir State University, 32 Zaki Validi St., Ufa 450076, Russia, khlobystovalena@yandex.ru

Elena I. Kulish, <https://orcid.org/0000-0002-6240-0718>, Bashkir State University, 32 Zaki Validi St., Ufa 450076, Russia, onlyalena@mail.ru



Obtaining stable polymer-colloidal dispersions based on water-soluble polymers and inorganic colloidal particles, such as silver iodide sol, followed by removal of the dispersion medium is one of the ways to create hybrid biomedical materials (e.g. films, three-dimensional matrices). The current work is devoted to studying the possibility of increasing the stability of polymer-colloidal systems based on silver iodide sols, succinyl chitosan and chitosan polysaccharides by reducing the total charge of macromolecules. It was shown that using particles of silver iodide sols as polymer stabilizers, partially neutralized chitosan and chitosan succinyl were observed to exhibit aggregative stability of the polymer-colloidal system. The absence of the increase in dispersions particles size for a rather long time was the evidence of that. It was found that decrease in the charge of chitosan macromolecules reduced the stability of polymer-colloidal dispersions based on chitosan and silver iodide sols with both positively and negatively charged particles. It was determined that for polymer-colloidal dispersions of succinyl chitosan-sol silver iodide in the case of a sol with negatively charged colloidal particles, the reduction in the charge of the macromolecule decreased the stability of the dispersion, while in the case of a sol with positively charged particles the stability is increased.

Keywords: hybrid nanocomposites, lyophobic sols, turbidity spectrum, nanoparticles, aggregative stability of sols.

References

1. Fedotchev T. A., Olenin A. Yu., Starostin K. M., Lisichkin G. V., Banin V. V., Shimanovskii N. L. Prospects for the use of gold, silver and iron oxide nanoparticles to increase the effectiveness of chemotherapy for tumor neoplasms. *Journal of Pharmacy and Chemistry*, 2015, vol. 49, no. 4, pp. 11–22 (in Russian).
2. Eliopoulos P., Mourelatos D. Lack of genotoxicity of silver iodide in the SCE assay in vitro, in vivo, and in the Ames/microsome test. *Teratogenesis, Carcinogenesis, and Mutagenesis*, 1998, vol. 18, iss. 6, pp. 303–308.
3. Capelli Christofer C. Antimicrobial compositions useful for medical applications. Patent 5, 326,567 USA. 1994.
4. Shamratova V. G., Sharafutdinova L. A., Hismatullina Z. R., Bazunova M. V., Kulish E. I., Valiev D. R. Comparative evaluation of the effect of ultrafine systems based on complexes of chitosan and its derivatives with colloidal particles of silver iodide on the structural and functional properties of red blood cells. *Biomedicine*, 2015, no. 3, pp. 69 (in Russian).
5. Litmanovich O. E., Papisov I. M. Influence of the length of macromolecules on the particle size of a metal reduced in a polymer solution. *Vysokomolekulyarnye soedineniya* [High Molecular Weight Compounds]. A. 1999, vol. 41, no. 11, pp. 1824–1830 (in Russian).
6. Shchukin E. D., Percov A. V., Amelina E. A. *Kolloidnaya himiya*. 3-e izd., pererab. i dop. [Colloid Chemistry]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2004. (in Russian).
7. Nepper D. *Stabilizaciya kolloidnyh dispersij polimerami* [Colloidal Dispersions' Polymer Preservation]. Ed. by Yu. S. Lipatova. Moscow, Mir Publ., 1986. 487 p. (in Russian).
8. Slivkin A. I., Lapenko V. L., Arzamascev A. P., Bolgov A. A. Aminoglucans as biologically active components of drugs (review for the period 2000–2004). *Voronezh State University Journal. Seriya: Himiya. Biologiya. Farmaciya*, 2005, no. 2, pp. 73–87 (in Russian).
9. Alekseeva T. P., Bogoslovskaya O. A., Olkhovskaya I. P., Glushchenko N. N., Rakhmetova A. A., Ilina A. V., Varlamov V. P., Baitukalov T. A., Levov A. N. Wound healing potential of chitosan and N-sulfosuccinoyl chitosan derivatives. *Biology Bulletin*, 2010, vol. 37, no. 4, pp. 339–345. DOI: 10.1134/S1062359010040023
10. Buzinova D. A., Abramov A. Yu., Shipovskaya A. B. Properties of chitosan films of various chemical forms. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2011, vol. 11, iss. 2, pp. 31–38 (in Russian).
11. Bazunova M. V., Valiev D. R., Yazlikbaeva D. Sh., Kulish E. I. The Method of Turbidity Spectrum in Determining the Size and Number of the Particles of Silver Iodide Sols. *Bashkir University Journal*, 2016, vol. 21, no. 1, pp. 53–54 (in Russian).
12. Klenin V. I. *Termodinamika sistem s gibkocepnymi polimerami* [Thermodynamics of Systems with Flexible Polymers]. Saratov, Izd-vo Saratovskogo universiteta, 1995. 736 p. (in Russian).
13. Klenin V. I., Shchegolev S. Yu., Lavrushin V. I. i dr. *Harakteristicheskie funkcii svetorasseyaniya dispersnyh sistem* [Characteristic Functions of Disperse Systems' Light Diffusion]. Saratov, Izd-vo Saratovskogo universiteta, 1977. 177 p. (in Russian).
14. Schrand A. M., Ciftan Hens S. A., Shenderova O. A. Nanodiamondparticles: Properties and Perspectives for bioapplications. *Critical Reviews in Solid State Materials Sciences*, 2009, vol. 34, pp. 18–74.
15. Lotov V. A. Nanodispersed Systems in Technology of Construction Materials and Produce. *Tomsk Polytechnic University News*, 2007, vol. 311, no. 3, pp. 84–88 (in Russian).

Cite this article as:

Bazunova M. V., Bazunova A. A., Khlobystova E. S., Kulish E. I. Total Charge of Chitosan and Chitosan Succinyl Macromolecules Effect on the Stability of Particles of Silver Iodide Sols in Polymer-Colloidal Based Dispersions. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2020, vol. 20, iss. 1, pp. 32–37 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-1-32-37>