

ОСОБЕННОСТИ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ ДЕСТРУКЦИИ АЦЕТАТА И СУКЦИНАМИДА ХИТОЗАНА В ПОЛИМЕР-КОЛЛОИДНЫХ ДИСПЕРСИЯХ С ЗОЛЯМИ ИОДИДА СЕРЕБРА

© В. В. Чернова, Д. Р. Валиев, М. В. Базунова, А. С. Шуршина, Е. И. Кулиш

Башкирский государственный университет, Уфа
E-mail: polymer-bsu@mail.ru

Поступила в Редакцию 13 апреля 2018 г.

После доработки 17 октября 2018 г.

Принята к публикации 23 октября 2018 г.

Изучен процесс ферментативной деструкции полимер-коллоидных дисперсий ацетата и сукцинамида хитозана с зольми иодида серебра. Установлено, что в присутствии заряженных частиц лиофобного золя наблюдается уменьшение скорости ферментативной деструкции как в растворах, так и в пленочных образцах. Данный факт обусловлен уменьшением активности ферментного препарата, вызванного присутствием ионов серебра, а также изменением конформационно-надмолекулярного состояния полимеров.

Ключевые слова: хитозан, полимер-коллоидные дисперсии, ферментативная деструкция.

DOI: 10.1134/S0044461819030022

В настоящее время в медицинских целях все более широко применяются вещества в коллоидном (нано-дисперсном) состоянии. Так, например, золото в виде лиофобного золя может использоваться для диагностики раковых опухолей [1], поскольку в коллоидном состоянии оно легче связывается с больными клетками, золи железа и его оксиды применяются для детектирования клеточных структур [2–7], коллоидные растворы серебра и его производных, проявляющие выраженное бактериостатическое, бактерицидное, противогрибковое и противовирусное действие [8–14], находят применение в качестве лекарственных соединений, стимулирующих восстановительные процессы в тканях живых организмов, а также для лечения инфекций слизистых оболочек.

Огромные перспективы имеют не только сами коллоидные растворы, но и полимер-коллоидные дисперсии (ПКД) на их основе, в которых полимер не только играет роль стабилизатора термодинамически

неустойчивого лиофобного золя [15], но и выполняет роль матрицы-основы [16]. Использование ПКД в медицинских целях диктует выбор полимера-основы в пользу биополимеров, особенно небелковой природы, обладающих низкой иммуногенностью [17]. В качестве таких полимеров могут быть использованы полисахариды, например хитозан, используемый в виде ацетата (АХТЗ) и сукцинамида хитозана (СХТЗ), характеризующиеся био- и гемосовместимостью, бактериостатичностью, а также, что особенно важно, деструктирующие под действием жидких сред организма с образованием нетоксичных продуктов [18].

В том случае, когда материал биомедицинского назначения получают на основе ПКД, необходимо учитывать тот факт, что не только полимер оказывает влияние на коллоидную дисперсию, но и она в свою очередь способна predeterminedить структурно-физическое состояние (конформационную и надмолеку-

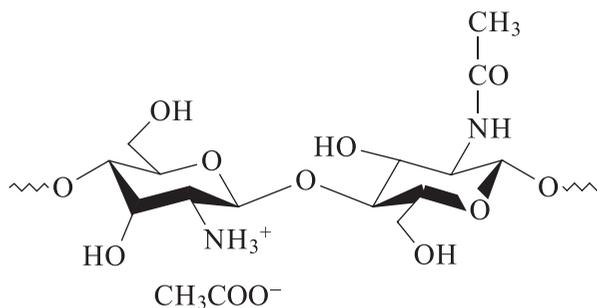
лярную структуру) полимера. Это может сказаться на комплексе физико-химических свойств материала, например скорости деструкции полимерной матрицы.

Факт определяющего влияния структурно-физического состояния полимера в растворе на процессы термоокислительной [19, 20], термической [21, 22] и ферментативной деструкции [23–26] уже находил подтверждение.

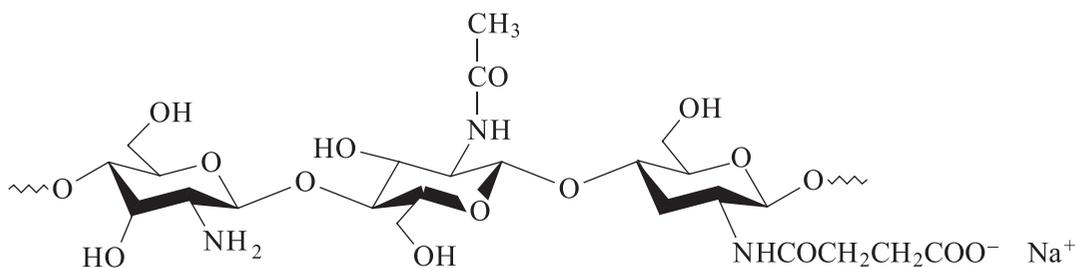
Целью данной работы стало изучение особенностей ферментативной деструкции АХТЗ и СХТЗ в ПКД. В качестве гидрофобного золя был использован иодид серебра, обладающий ярко выраженными бактерицидными свойствами. Учитывая высокую светочувствительность иодида серебра, все опыты проводили в темноте.

Экспериментальная часть

Золи иодида серебра получали конденсационным способом по стандартной методике [27] смешением растворов нитрата серебра и иодида калия в различных объемных соотношениях. Для получения положительно заряженных коллоидных частиц в избытке брали нитрат серебра в объемных соотношениях $KI:AgNO_3 = 7:10$ [золь (+)], а для отрицательно заряженных — $10:7$ [золь (-)] соответственно. Концентрации исходных растворов составляли $0.001, 0.01, 0.015, 0.02$ моль·л⁻¹. Для формирования ПКД в качестве полимерной основы были выбраны два полиэлектролита — поликатион АХТЗ (а) и полианион СХТЗ (б) (производства ЗАО «Биопрогресс», Московская область, г. Щелково):



(а)



(б)

ПКД получали путем сливания предварительно приготовленного раствора золя иодида серебра и раствора полимера соответствующей концентрации в объемных соотношениях 1:1.

Характеристическую вязкость исходных (не подвергнутых процессу ферментативной деструкции) полимеров $[\eta]_0$ и характеристическую вязкость $[\eta]_t$ в ходе проведения деструкции в течение времени t определяли на вискозиметре Уббелодде при температуре $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$ и рассчитывали, используя подход Баранова [28], который позволяет исключить влияние эффекта полиэлектролитного набухания на значение характеристической вязкости полимера [29].

За начальную скорость процесса ферментативной деструкции V_0 принимали значение тангенса угла

наклона начального (линейного) участка зависимости характеристической вязкости $[\eta]$ от времени контактирования с раствором ферментного препарата. Поскольку значения pH растворов АХТЗ и СХТЗ сильно различаются (3.6 и 7.3 соответственно), сравнивать их скорости ферментативной деструкции некорректно, однако можно провести оценку изменения V_0 индивидуального полимера и ПКД, в результате образования которых не происходило изменения pH среды.

В качестве ферментного препарата использовали гиалуронидазу (торговое название Лираз, производство ЗАО Микроген, Москва, Россия). Концентрация ферментного препарата в растворе при проведении деструкции составляла 0.1 г·л⁻¹. Ферментный пре-

парат, растворенный в небольшом количестве воды, вносили в раствор полимера (или ПКД), после чего выдерживали в течение определенного времени. Поскольку значение относительной вязкости раствора фермента составляло менее 1% от вязкости раствора полимера в ПКД, его вклад в значения вязкости раствора не учитывался. Протекание ферментативной деструкции останавливали путем выдерживания раствора полимера или ПКД в кипящей воде в течение 30 мин.

Пленки формировали методом полива раствора полимера или ПКД на поверхность стекла в чашке Петри. Для проведения ферментативной деструкции пленочный образец помещали на подложку, смоченную раствором ферментного препарата, выдерживали в течение определенного времени в термостатируемых условиях. Как и в случае раствора полимера, протекание ферментативной деструкции останавливали путем выдерживания бюкса с пленочным образцом в кипящей воде в течение 30 мин. Затем готовили раствор заданной концентрации и проводили определение характеристической вязкости.

Примененный в работе метод дезактивации ферментного препарата был выбран в связи с невозможностью использования общепринятых методов подавления действия фермента, например, изменением pH, поскольку при этом изменилось бы конформационно-надмолекулярное состояние полимера в растворе, что в свою очередь отразилось бы и на значениях характеристической вязкости. Время выдерживания образцов на водяной бане было подобрано экспериментальным путем. Именно при 30-минутном выдерживании наблюдались воспроизводимые результаты по значениям характеристической вязкости.

Степень структурирования (агрегации) раствора δ определяли по тангенсу угла наклона прямой экспериментальных зависимостей удельной вязкости растворов полимеров и ПКД от концентрации полимера в растворе в логарифмических координатах [30].

Активность ферментного препарата определяли по стандартной методике Хагедорна–Йенсена [31]. За единицу активности принимали количество ферментного препарата, которое образует 1 мкмоль восстанавливающих сахаров за 1 мин гидролиза 50 мг фильтровальной бумаги.

ИК-спектры регистрировали на инфракрасном спектрофотометре с преобразованием Фурье фирмы Shimadzu FTIR-8400S. Образцы снимали на горизонтальной приставке методом многократного нарушенного полного внутреннего отражения (МНПВО). Ячейка прибора: internal. Аподизация: функция Нарт–

Genzel (Гаппа–Генцеля). Число сканов: 20. Интервал сканирования: 4000–800 см^{-1} .

Обсуждение результатов

На рис. 1 для примера приведены кривые изменения характеристической вязкости СХТЗ в растворе и в ПКД. Видно, что выдержка полимера в присутствии фермента сопровождается постепенным уменьшением вязкости, что свидетельствует о протекании процесса деструкции. Кривые изменения характеристической вязкости для растворов АХТЗ аналогичны. Во всех изученных случаях кинетические кривые имели традиционный для ферментативных реакций вид — в начальный период (в течение 10–15 мин) зависимость характеристической вязкости от времени имеет линейный характер, что позволяет рассчитать значение скорости деструкции V_0 . Дальнейшая выдержка полимеров с раствором ферментного препарата приводит к некоторому замедлению процесса и отклонению характера зависимости характеристической вязкости от времени от линейной.

В ходе сравнения особенностей протекания процесса ферментативной деструкции АХТЗ и СХТЗ в виде растворов и ПКД было выявлено несколько заслуживающих внимания фактов.

Во-первых, исходные значения характеристической вязкости как СХТЗ, так и АХТЗ, определенные

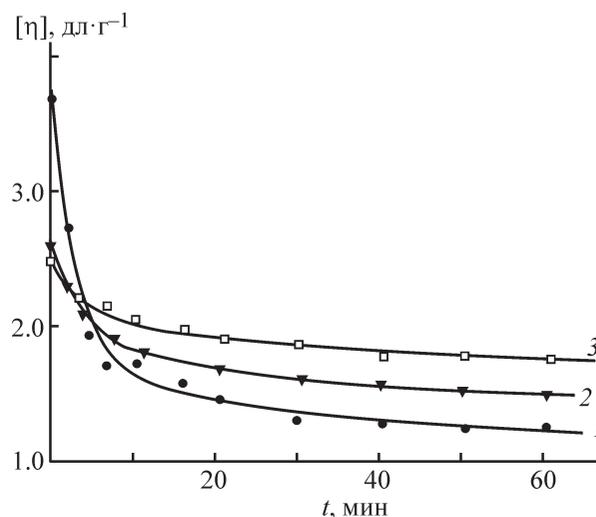


Рис. 1. Зависимость характеристической вязкости СХТЗ, выделенного из пленочных образцов, полученных из раствора СХТЗ в воде (1) и из ПКД на основе золя иодида серебра с отрицательно (2) и положительно заряженными коллоидными частицами (3).

Золь получен при сливании 0.01 М растворов AgNO_3 и KI в объемных соотношениях 7:10 (2) и 10:7 (3) соответственно.

Таблица 1

Значения степени агрегации и характеристической вязкости полимеров в растворе в присутствии зольей иодида серебра

Полимер	Без золя		С золем	Объемное соотношение компонентов							
	δ	$[\eta]$, дл·г ⁻¹		1:10		3:10		5:10		7:10	
				δ	$[\eta]$, дл·г ⁻¹	δ	$[\eta]$, дл·г ⁻¹	δ	$[\eta]$, дл·г ⁻¹	δ	$[\eta]$, дл·г ⁻¹
АХТЗ	1.00	7.8	Золь (+)*	1.18	6.4	1.21	5.8	1.22	5.5	1.22	5.5
			Золь (-)**	1.19	6.5	1.22	5.8	1.26	5.6	1.22	5.5
			KNO ₃ ***	1.11	6.9	1.12	6.4	1.14	6.2	1.12	6.2
СХТЗ	1.00	3.6	Золь (+)*	1.18	2.8	1.20	2.8	1.20	2.7	1.21	2.6
			Золь (-)**	1.20	2.9	1.25	2.8	1.22	2.8	1.21	2.7
			KNO ₃ ***	1.15	3.4	1.16	3.3	1.17	3.2	1.15	3.0

* Золь получали при сливании 0.001 М растворов AgNO₃:KI в соответствующих объемных соотношениях.

** Золь получали при сливании 0.001 М растворов KI:AgNO₃ в соответствующих объемных соотношениях.

*** «Холостой» эксперимент заключался во введении KNO₃ в количестве, сопоставимом с тем, которое образуется при формировании зольей.

для растворов и для ПКД этих растворов, неодинаковы (табл. 1).

Во-вторых, процесс деструкции полимеров в виде растворов всегда происходит быстрее и в большей степени, чем в виде ПКД. Так, если скорость ферментативной деструкции СХТЗ в воде составляет $V_0 = 0.1$ дл·г⁻¹·мин⁻¹, то в виде ПКД — всегда меньше. Для АХТЗ наблюдаемые закономерности аналогичны. При этом уменьшение скорости ферментативной деструкции в присутствии золя более ярко выражено в случае ПКД с положительно заряженными частицами, т. е. в том случае, когда золь был получен в избытке нитрата серебра (табл. 2). В-третьих, значение скорости ферментативной деструкции АХТЗ и СХТЗ в ПКД зависит от соотношения компонентов, используемых при приготовлении зольей.

Причин, вызывающих уменьшение скорости ферментативной деструкции в присутствии золя, может быть по крайней мере две. Во-первых, можно предположить, что золь иодида серебра вызывает уменьшение активности фермента. Действительно, непосредственное добавление к раствору ферментного препарата AgNO₃ (т. е. введение свободных ионов серебра) сопровождается уменьшением его активности (табл. 3), что согласуется с литературными данными [32]. Также к уменьшению активности ферментного препарата приводит добавление зольей иодида серебра с положительно заряженными частицами, т. е. вве-

Таблица 2

Значения начальной скорости ферментативной деструкции СХТЗ и АХТЗ

Полимер	Объемное соотношение исходных растворов KI:AgNO ₃ ,* об%	V_0 , дл·г ⁻¹ ·мин ⁻¹
СХТЗ	Без золя	0.10
	1:10	0.07
	3:10	0.05
	5:10	0.04
	7:10	0.03
	10:1	0.07
	10:3	0.07
	10:5	0.06
	10:7	0.05
АХТЗ	Без золя	0.08
	1:10	0.06
	3:10	0.05
	5:10	0.03
	7:10	0.02
	10:1	0.07
	10:3	0.07
	10:5	0.05
10:7	0.05	

* Концентрация исходных растворов KI и AgNO₃ составляла 0.001 моль·л⁻¹.

Таблица 3

Общая гликозидазная активность ферментного препарата гиалуронидазы, определенная в различных средах

Среда	Мольное соотношение KI:AgNO ₃ при получении золя*	Активность фермента E, отнесенная к 1 г ферментного препарата
Вода	—	66
Раствор AgNO ₃ 0.01 М	—	22
Золь AgI(+)	7:10	63
	5:10	44
	3:10	39
Золь (-)	10:7	68
	10:5	65
	10:3	66

* Концентрация исходных растворов KI и AgNO₃ составляла 0.01 моль·л⁻¹.

дение адсорбированных на агрегате ионов серебра. При этом ни введение иодида калия, ни введение золя иодида серебра с отрицательно заряженными коллоидными частицами не сказывается на активности ферментного препарата (табл. 3).

Таким образом, объяснить имеющее место уменьшение скорости ферментативной деструкции АХТЗ и

СХТЗ в растворе в присутствии золь уменьшением активности ферментного препарата (его дезактивации) можно только в случае ПКД с положительно заряженными частицами, т. е. в случае наличия в растворе ПКД адсорбированных Ag⁺. Между тем проведенные исследования свидетельствуют о том, что АХТЗ и СХТЗ, находящиеся в виде ПКД, полученных

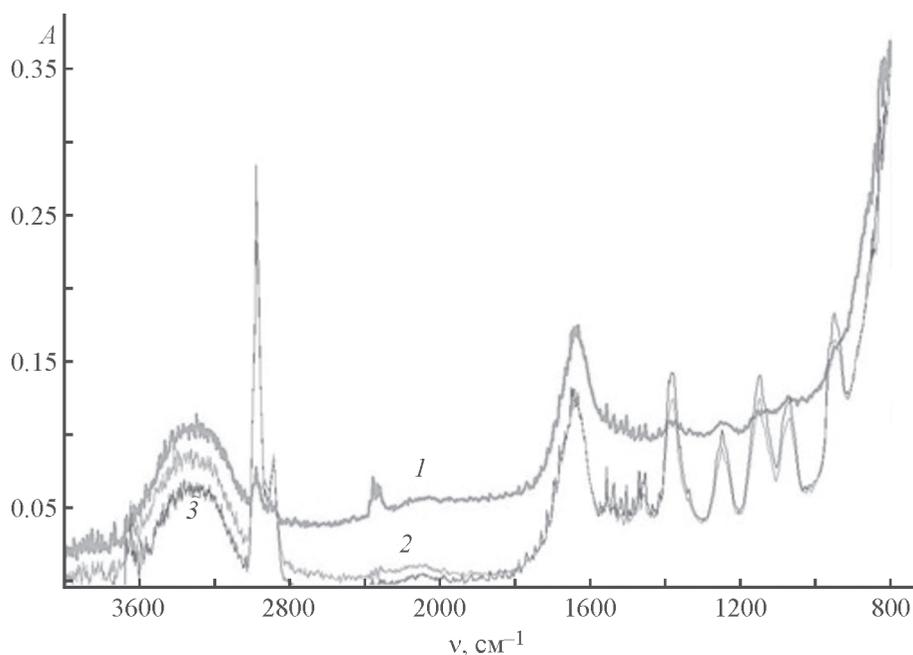


Рис. 2. ИК-спектры золя иодида серебра с положительно заряженными коллоидными частицами (1), СХТЗ (2) и ПКД на их основе (3).

Золь получен при сливании 0.01 М растворов AgNO₃ и KI в объемных соотношениях 10:7, концентрация СХТЗ 0.5%.

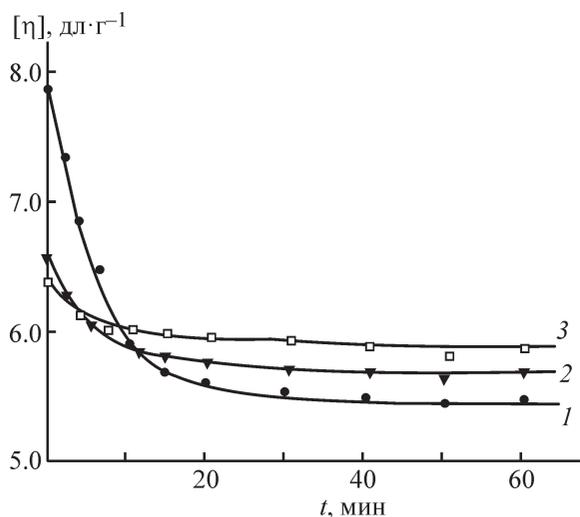


Рис. 3. Зависимость характеристической вязкости АХТЗ, выделенного из пленочных образцов, полученных из раствора АХТЗ в воде (1) и из ПКД на основе золя иодида серебра с отрицательно (2) и положительно заряженными коллоидными частицами (3).

Золь получен при сливании 0.01 М растворов AgNO_3 и KI в объемных соотношениях 7:10 (2) и 10:7 (3) соответственно.

на основе золь с отрицательно заряженными частицами (т. е. полученных при избытке иодида калия), деструктируют в меньшей степени, чем растворы индивидуального АХТЗ и СХТЗ, что свидетельствует о действии иного фактора.

В качестве второй возможной причины уменьшения скорости ферментативной деструкции можно предположить, что введение золя иодида серебра может приводить к уменьшению доступности звеньев полимеров для взаимодействия с ферментом вследствие сжатия макромолекулярного клубка аналогично тому, как это имело место при деструкции АХТЗ в присутствии низкомолекулярных электролитов [33–35]. Поскольку добавление золя иодида серебра в раствор полимера автоматически подразумевает и введение низкомолекулярного электролита — нитрата калия, образующегося в результате реакции обмена между нитратом серебра и иодидом калия при формировании золь AgI конденсационным способом, высказанное ранее предположение представляется вполне логичным. АХТЗ и СХТЗ — полиэлектролиты, в растворе присутствуют в виде поликатиона и полианиона соответственно, введение любого электролита должно приводить к подавлению эффекта полиэлектролитного набухания.

Действительно, проведение «холостого» эксперимента, когда к растворам АХТЗ и СХТЗ добавляли раствор KNO_3 в количестве, сопоставимом с обра-

зующимся при синтезе золь, приводит к тому, что имеет место снижение $[\eta]$ и образование макромолекулярных агрегатов в растворе (табл. 1). Однако анализ данных, приведенных в табл. 1, свидетельствует о том, что во всех изученных случаях для растворов обоих полимеров изменение значений характеристической вязкости и степени структурирования полимеров в растворе в присутствии KNO_3 происходит в меньшей степени, чем в присутствии коллоидных частиц золя иодида серебра. Следовательно, можно предположить, что уменьшение скорости и степени ферментативной деструкции полимеров в ПКД по сравнению с деструкцией в растворе индивидуальных полимеров действительно может быть следствием изменения конформационно-надмолекулярного состояния полимера в растворе: сжатия макромолекулярных клубков и формирования межмолекулярных агрегатов, что обусловлено не только и не столько изменением ионной силы раствора, но и формированием ПКД путем адсорбции полимера на коллоидных частицах. Физический характер адсорбции подтверждается и данными ИК-спектроскопии. Так, из представленных (рис. 2) ИК-спектров растворов СХТЗ и ПКД на его основе с золь иодида серебра видно, что образование ПКД не приводит к смещению основных характеристических полос полимера. При этом варьирование условий приготовления золь иодида серебра, а именно соотношения компонентов в исходном растворе, приводящее к изменению числа и размера частиц золя, а следовательно, и величины межфазной поверхности [36], позволяет оказывать влияние на скорость ферментативной деструкции.

Важно то, что закономерности ферментативной деструкции, определенные для растворов полимеров, сохраняются и при переходе к пленочным образцам. На рис. 3 для примера приведены кинетические кривые процесса ферментативной деструкции пленочных образцов АХТЗ и ПКД на его основе. Как видно из представленных данных, пленочные материалы, полученные на основе ПКД, деструктируют в меньшей степени, чем сформированные из растворов индивидуальных полимеров.

Таким образом, можно утверждать, что уменьшение скорости ферментативной деструкции пленочных образцов, имеющее место при переходе от растворов полимеров к полимер-коллоидным дисперсиям, обусловлено не только уменьшением активности ферментного препарата, вызванным присутствием ионов серебра, но и изменением конформационно-надмолекулярного состояния полимеров вследствие адсорбции полимера на поверхности коллоидных частиц.

Выводы

1. Установлено, что присутствие в растворах ацетата и сукцинамида хитозана заряженных частиц лиофобного золя вызывает уменьшение характеристической вязкости за счет сжатия макромолекулярного клубка и приводит к повышению степени агрегации полимеров в растворе.

2. Показано, что растворы полимер-коллоидных дисперсий характеризуются меньшей скоростью ферментативной деструкции, чем индивидуальные растворы ацетата и сукцинамида хитозана. Наименьшая скорость деструкции характерна для полимер-коллоидных дисперсий, частицы дисперсной фазы которых обладают наибольшей межфазной поверхностью.

3. Установлена корреляция между значениями скорости ферментативной деструкции, характеристической вязкости и степени агрегации макромолекул.

Финансирование работы

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности, проект № 4.5032.2017/БЧ.

Список литературы

- [1] *Bhattacharyya S., Kudgus R. A., Bhattacharyya R., Mukherjee P.* // *Pharm. Res.* 2011. V. 28. N 2. P. 237–259.
- [2] *Berry C., Curtis A.* // *J. Phys. D. Appl. Phys.* 2003. V. 36. N 13. P. 36–38.
- [3] *Lu A.-H., Salabas E. L., Schuth F.* // *Angew. Chem. Int. Ed.* 2007. V. 46. P. 1222–1244.
- [4] *Babic M., Horák D., Trchová M., Jendelová P., Glogarová K. I., Lesný P., Herynek V., Hájek M., Syková E.* // *Bioconjugate Chem.* 2008. V. 19. N 3. P. 740–750.
- [5] *Suh J. S., Lee J. Y., Choi Y. S., Yu F., Yang V., Lee S. J., Chung C. P., Park Y. J.* // *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2009. V. 379. N 3. P. 669–675.
- [6] *Wang Y. J., Wang Y. M., Wang L., Che Y. Z., Li Z. J., Kong D. L.* // *J. Nanosci. Nanotechnol.* 2011. V. 11. N 5. P. 3749–3756.
- [7] *Zhang Z., Dharmakumar R., Mascheri N., Fan Z., Wu S., Li D.* // *Mol. Imaging.* 2009. V. 8. N 3. P. 148–155.
- [8] *Савадян Э. Ш., Мельникова В. М., Беликова Г. П.* // *Антибиотики и химиотерапия.* 1989. № 11. С. 874–878.
- [9] *Shahverdy A. R., Fakhimi A., Minaian S.* // *Nanomedicine Nanotechnol. Biol. Med.* 2007. V. 3. N 2. P. 168–171.
- [10] *Щербаков А. Б.* // *Фармацевтический журн.* 2006. № 5. С. 45–57.
- [11] *Нежинская Г. И., Конейкин В. В., Гмиро В. Е.* *Серебро в медицине и технике: Препринт № 4.* Новосибирск: СО РАМН, 1995. С. 151–153.
- [12] *Pandey D., Ortiz C., Torres R.* // *Int. J. Nanomed.* 2013. V. 3. N 9. P. 1361–1370.
- [13] *Martindale — The Extra Pharmacopoeia. 28th Ed.* Eds J. E. F. Reynolds, A. B. Prasad / London: The Pharmaceutical Press, 1982. 941 p.
- [14] *Роцин А. В., Орджоникидзе Э. К.* // *Гигиена труда и проф. заболеваний.* 1984. № 10. С. 25–28.
- [15] *Щукин Е. Д., Перцов А. В., Амелина Е. А.* *Коллоидная химия.* М.: Высш. шк., 2004. 445 с.
- [16] *Henner D.* *Стабилизация коллоидных дисперсий полимерами / Пер. с англ.* В. П. Привалко под ред. Ю. С. Липатова. М.: Мир, 1986. 487 с. [*Napper D. H. Polymeric Stabilization of Colloidal Dispersions.* London: Acad. Press, 1983. 345 p.].
- [17] *Штильман М. И.* *Полимеры медико-биологического назначения.* М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. 400 с.
- [18] *Скрябин К. Г., Вихорева Г. А., Варламов В. П.* *Хитин и хитозан: Получение, свойства и применение.* М.: Наука, 2002. 360 с.
- [19] *Кулиш Е. И., Герчиков А. Я., Чирко К. С., Колесов С. В., Заиков Г. Е.* // *Высокомолекуляр. соединения.* 2004. Т. 46Б. № 2. С. 349–353 [*Kulish E. I., Gerchikov A. Ya., Chirko K. S., Kolesov S. V., Zaikov G. E.* // *Polym. Sci. Ser. B.* 2004. V. 46. N 1. P. 31–34].
- [20] *Эмануэль Н. М., Бучаченко А. Л.* *Химическая физика старения и стабилизации полимеров.* М.: Наука, 1982. 368 с.
- [21] *Колесов С. В., Кулиш Е. И., Заиков Г. Е.* // *Высокомолекуляр. соединения.* 2003. Т. 45А. № 7. С. 1053–1063 [*Kolesov S. V., Kulish E. I., Zaikov G. E.* // *Polym. Sci. Ser. A.* 2003. V. 45. N 7. P. 597–605].
- [22] *Колесов С. В., Кулиш Е. И., Минскер К. С.* // *Высокомолекуляр. соединения.* 1994. Т. 36Б. № 8. С. 1383–1386 [*Kolesov S. V., Kulish E. I., Minsker K. S.* // *Polym. Sci. Ser. B.* 1994. V. 36. N 8. P. 1147–1148].
- [23] *Кулиш Е. И., Колесов С. В., Минскер К. С., Заиков Г. Е.* // *Высокомолекуляр. соединения.* 1998. Т. 40А. № 8. С. 1309–1313 [*Kulish E. I., Kolesov S. V., Minsker K. S., Zaikov G. E.* // *Polym. Sci. Ser. A.* 1998. V. 40. N 8. P. 813–817].
- [24] *Kulish E. I., Chernova V. V., Kolesov S. V., Volodina V. P., Monakov Y. B.* // *J. Balkan Trib. Ass.* 2011. V. 17. N 2. P. 262–274.
- [25] *Туктарова И. Ф., Чернова В. В., Лаздин Р. Ю., Кулиш Е. И.* // *Физикохимия поверхности и защита материалов.* 2016. Т. 52. № 2. С. 203–208 [*Tuktarova I. F., Chernova V. V., Lazdin R. Y., Ku-*

- lish E. I. // *Protection Metals Phys. Chem. Surfaces*. 2016. V. 52. N 2. P. 297–301].
- [26] Chernova V. V., Kulish E. I., Kolesov S. V., Volodina V. P., Monakov Y. B., Zaikov G. E. // *Cellulose Chem. Technol.* 2008. V. 42. N 9–10. P. 513–516.
- [27] Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии / Под ред. Ю. Г. Фролова, А. С. Гродского. М.: Химия, 1986. 216 с.
- [28] Баранов В. Г., Бресткин Ю. В., Агранова С. А., Пинкевич В. Н. // *Высокомолекуляр. соединения*. 1986. Т. 28Б. № 10. С. 841–843.
- [29] Чернова В. В., Туктарова И. Ф., Кулиш Е. И. // *Бутлеровские сообщ.* 2013. Т. 34. № 4. С. 102–106.
- [30] Arinshtein A. E. // *Sov. Phys. JETP*. 1992. V. 74. N 4. P. 646–650.
- [31] Степаненко Б. Н. *Химия и биохимия углеводов (полисахариды)*. М.: Высш. шк., 1977. 224 с.
- [32] *Биохимия: Учеб. для вузов* / Под ред. Е. С. Северина. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2003. 779 с.
- [33] Чернова В. В., Туктарова И. Ф., Кулиш Е. И. // *Хим. физика*. 2017. Т. 36. № 4. С. 75–80 [Chernova V. V., Tuktarova I. F., Kulish E. I. // *Russ. J. Phys. Chem. B*. 2017. V. 11. N 2. P. 338–342].
- [34] Чернова В. В., Туктарова И. Ф., Кулиш Е. И. // *Прикл. биохимия и микробиология*. 2016. Т. 52. № 5. С. 513–519 [Chernova V. V., Tuktarova I. F., Kulish E. I. // *Appl. Biochem. Microbiol.* 2016. V. 52. N 5. P. 525–530].
- [35] Чернова В. В., Шуришина А. С., Базунова М. В., Кулиш Е. И. // *ЖПХ*. 2015. Т. 88. № 4. С. 616–621 [Chernova V. V., Shurshina A. S., Bazunova M. V., Kulish E. I. // *Russ. J. Appl. Chem.* 2015. V. 88. N 4. P. 647–651].
- [36] Базунова М. В., Валиев Д. Р., Замула Ю. С., Чернова В. В., Колесов С. В., Кулиш Е. И. // *Хим. физика*. 2017. Т. 36. № 6. С. 70–78 [Bazunova M. V., Valiev D. R., Zamula Y. S., Chernova V. V., Kolesov S. V., Kulish E. I. // *Russ. J. Phys. Chem. B*. 2017. V. 11. N 3. P. 513–520].
-