

М. В. Базунова, К. В. Набутова, Г. С. Яхина

# ПОЛУЧЕНИЕ РАНЕЗАЖИВЛЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ НЕКОТОРЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ

**Ключевые слова:** натриевая соль *N*-сукцинилхитозана, натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы, сорбционная способность, степень агрегации, реологические характеристики.

Работа посвящена изучению влияния содержания ионогенного антибиотика цефатоксима соли на реологическое поведение и конформационно-надмолекулярное состояние в растворах смесей натриевых солей *N*-сукцинилхитозана и карбоксиметилцеллюлозы и на сорбционные свойства полученных на основе растворов пленок для заживления ран различной этиологии. Целесообразность использования полисахаридных матриц на основе хитозана и его производных обусловлена такими свойствами данных аминополисахаридов, как совместимость с живыми тканями, способность препятствовать размножению микроорганизмов, способность к биорезорбции, пролонгация действия лекарственных веществ и многое другое. При этом, пленочные образцы на основе индивидуальной натрий-*N*-сукцинилхитозана не всегда имеют удовлетворительные деформационно-прочностные характеристики. В работе показано, что растворы натриевых солей *N*-сукцинилхитозана и карбоксиметилцеллюлозы и их смесей в присутствии цефатоксима как при относительно небольших концентрациях (до 0,2 %), так и в области более высоких концентраций (0,5-1 %) представляют собой агрегированные растворы взаимодействующих между собой макромолекул. При смешении натриевых солей *N*-сукцинилхитозана и карбоксиметилцеллюлозы наблюдается увеличение вязкости по сравнению с растворами индивидуальных натриевых солей *N*-сукцинилхитозана и карбоксиметилцеллюлозы, а также степень структурированности раствора зависит от содержания лекарственного вещества. Полученные закономерности о влиянии модифицирования растворов натриевой соли *N*-сукцинилхитозана высокомолекулярным модификатором натриевой солью карбоксиметилцеллюлозы и о влиянии содержания лекарственного вещества на процессы агрегации макромолекул в растворе коррелируют с закономерностями сорбции паров воды пленками, полученными из данных растворов. Пленки, полученные из растворов смесей полисахаридов, характеризуются ограниченной степенью набухания в парах воды по сравнению с пленками, индивидуальной натрий-*N*-сукцинилхитозана, у которого наблюдается неограниченное набухание с последующим растворением. При этом, увеличение содержания лекарственного вещества цефатоксима приводит к уменьшению величины сорбции по парам воды, что обусловлено большей плотностью упаковки. В связи с этим, можно ожидать, что полученные закономерности процесса поглощения воды найдут свое отражение в особенностях транспорта и пролонгации выхода лекарственных препаратов из смешанных полисахаридных пленок.

М. V. Bazunova, K. V. Nabutova, G. S. Yakhina

## PRODUCTION OF WOUND-HEALING COATINGS BASED ON MIXTURES OF CERTAIN POLYSACCHARIDES

**Key words:** sodium salt of *N*-succinylchitosan, sodium salt of carboxymethylcellulose, sorption capacity, degree of aggregation, rheological characteristics.

The work is devoted to studying the influence of the content of the ionogenic antibiotic cefotaxime salt on the rheological behavior and conformational-supramolecular state in solutions of mixtures of sodium salts of *N*-succinyl chitosan and carboxymethyl cellulose and on the sorption properties of films obtained on the basis of solutions for healing wounds of various etiologies. The expediency of using polysaccharide matrices based on chitosan and its derivatives is due to such properties of these aminopolysaccharides as compatibility with living tissues, the ability to prevent the proliferation of microorganisms, the ability to bioresorption, prolongation of the action of drugs and much more. At the same time, film samples based on individual sodium-*N*-succinyl chitosan do not always have satisfactory deformation and strength characteristics. The work shows that solutions of sodium salts of *N*-succinyl chitosan and carboxymethyl cellulose and their mixtures in the presence of cefotaxime both at relatively low concentrations (up to 0.2%) and in the region of higher concentrations (0.5-1%) are aggregated solutions of interacting macromolecules. When mixing sodium salts of *N*-succinyl chitosan and carboxymethyl cellulose, an increase in viscosity is observed compared to solutions of individual sodium salts of *N*-succinyl chitosan and carboxymethyl cellulose, and the degree of structuring of the solution depends on the content of the drug. The obtained regularities on the effect of modifying solutions of sodium *N*-succinyl chitosan with high-molecular modifiers of sodium carboxymethyl cellulose and on the effect of the drug content on the processes of macromolecule aggregation in the solution correlate with the regularities of water vapor sorption by films obtained from these solutions. Films obtained from solutions of polysaccharide mixtures are characterized by a limited degree of swelling in water vapor compared to films of individual sodium *N*-succinyl chitosan, which exhibit unlimited swelling with subsequent dissolution. At the same time, an increase in the content of the drug cefotaxime leads to a decrease in the amount of sorption by water vapor, which is due to a higher packing density. In this regard, it can be expected that the obtained regularities of the water absorption process will be reflected in the features of transport and prolongation of the release of drugs from mixed polysaccharide films.

## Введение

Использование полимеров в медицине в качестве основы пленочных материалов для лечения ран различной этиологии, а также в качестве имплантов органов и тканей на сегодняшний день ограничено [1, 2]. Причина в том, что, не все полимерные материалы имеют такие свойства, как совместимость с живыми тканями, способность к биорезорбции и к замедлению размножения болезнетворных микроорганизмов, высокую проницаемость по воздуху и парам воды, хорошую способность поглощать ранеотделяемую жидкость и прозрачность [3]. В связи с этим, при создании полимерных материалов для биомедицины целесообразным является использование полисахарида хитозана и его производных, полученных химической модификацией первичной аминогруппы, в том числе, натриевой соли N-сукцинилхитозана (СХТЗ) [4, 5]. Но, при этом, материалы на основе СХТЗ не всегда имеют необходимые деформационно-прочностные свойства [2]. Структура, а значит и свойства полимеров в такой плёнке, определяются состоянием полимерных молекул в исходном растворе [6-11]. Следовательно, при варьировании структурообразования полимеров в растворе появляется возможность регулировать физико-химические и эксплуатационные свойства материалов, сформированных из раствора. В данной работе для регулирования процессов структурообразования и улучшения физико-механических и физико-химических (сорбционных, транспортных и пр.) материалов на основе СХТЗ выбран такой подход, как получение на основе СХТЗ смесей с другими биосовместимыми полимерами, например натрийкарбоксиметилцеллюлозой (КМЦ) [12].

Дополнительными преимуществами применения полимерной матрицы при создании полимерных форм лекарственных средств является возможность снижения расхода лекарственного вещества (ЛВ), обеспечение равномерной скорости доставки, пролонгирование действия ЛВ [2].

В связи с вышесказанным, целью данной работы явилось изучение влияния содержания ЛВ цефатоксима в виде натриевой соли на надмолекулярную структуру в растворах смесей СХТЗ и КМЦ и на физико-химические свойства полученных на основе полимерных растворов ранезаживляющих пленок.

## Экспериментальная часть

В работе использованы СХТЗ с молекулярной массой 200000 а.е.м. со степенью замещения по аминогруппам 75 % (производитель ЗАО «Биопрогресс», г. Щелково, Россия) и КМЦ со степенью замещения 80–95 %, с молекулярной массой 260000 а.е.м. (производитель Ashland, США).

Получение растворов КМЦ и СХТЗ или их смесей с различными концентрациями полимерных компонентов и цефатоксима осуществлялось путем растворения воздушно-сухой навески полимеров в биодистиллированной воде с последующим добавлением необходимого количества ЛВ таким образом, чтобы концентрация цефатоксима в пленке была

0,025-0,1 моль/л. Растворение СХТЗ и КМЦ и их смесей происходило в течение 24 часов в условиях механического перемешивания.

Определение размера частиц осуществлялось методом спектра мутности [13, 14].

Для определения степени агрегации макромолекул процессов проводили обработку экспериментальных зависимостей удельной вязкости растворов полисахаридов от концентрации в двойных логарифмических координатах и определяли степенной показатель  $\delta$  в зависимости (1), который является показателем текущей агрегированности системы.

$$\Delta\eta \sim \eta_0 \cdot c^\delta, \delta > 1$$

Следовательно, любое отклонение показателя  $\delta$  от единицы свидетельствует о том, что данная система является структурированной.

Реологические исследования растворов индивидуальных СХТЗ и КМЦ и их смесей были проведены на модульном динамическом реометре «Haake Mars III» при температуре  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  с использованием системы плоскость-конус диаметром 35 мм и углом при вершине конуса 2 градуса в режиме сдвигового деформирования в диапазоне скоростей сдвига  $0,1 - 10 \text{ с}^{-1}$ . За наибольшую ньютоновскую вязкость принимали вязкость, определенную при скорости сдвига, равной  $0,1 \text{ с}^{-1}$ .

Пленки индивидуальных СХТЗ и КМЦ и их смесей получали методом полива растворов заданной концентрации на обезжиренную ацетоном поверхность стеклянных чашек Петри. Пленки сушили на открытом воздухе в течение 7-14 суток, далее досушивали при  $80^\circ\text{C}$  в вакуумном сушильном шкафу в течение 24 ч.

Плотность пленок  $\rho$  определяли пикнометрическим методом. Опыты по определению плотности проводили в термостатируемых условиях ( $T=20^\circ\text{C}$ ). Ошибка в определении плотности не превышала 2%.

Поглощение паров воды образцами пленок индивидуальных СХТЗ, КМЦ и их смесей проводили при 100% влажности при температуре  $25^\circ\text{C}$  в эксикаторе. Количество воды  $m_t$ , поглощаемое образцами к моменту времени  $t$ , определено весовым методом и рассчитано по формуле:

$$m_t = \frac{\Delta m_t}{m_0}, \quad (1)$$

где  $m_0$  – исходная масса плёнки,  $\Delta m_t$  – разница между массой образца в момент времени  $t$  и исходной массой образца.

Суммарный объем пор  $V_{\text{общ}}$  образцов вычисляли по формуле:

$$V_{\text{общ}} = \frac{(m_1 - m)}{m \cdot \rho},$$

где  $m$  – масса навески образца, г;  $m_1$  – масса навески образца, поглотившего пары воды, г;  $\rho$  – плотность воды, г/см<sup>3</sup>.

Погрешность эксперимента по сорбции паров воды при доверительной вероятности 0.95 и количестве параллельных опытов равных 5 не превышала 3%.

## Обсуждение результатов

Низкое сродство двух полимеров, даже имеющих сходную природу может привести к усилению процессов смесей полимеров в растворе. Следовательно, введение в раствор СХТЗ высокомолекулярных модификаторов, например КМЦ, может позволить регулировать конформационно-надмолекулярное состояние макромолекул, а, следовательно, и варьировать свойства получаемых на основе растворов полимерных материалов (пленок, пористых пластин, матриц и т.п.). Выбор КМЦ в качестве компонента смесей обусловлен тем, что это относительно дешевый и доступный полисахарид, имеющий полиэлектролитную природу, который часто применяется в медицинских материалах и изделиях, косметологии, в пищевой промышленности, нефтедобыче в качестве пластификатора, загустителя и пр. [15-17].

Как показано в работах [18-20], и раствор СХТЗ, и раствор КМЦ в воде в разбавленном концентрационном режиме представляют собой растворы индивидуальных неагрегированных макромолекул. Наличие заряда на макромолекулах приводит к полиэлектролитному набуханию и отталкиванию макромолекул друг от друга в растворе, поэтому в присутствии ионогенного ЛВ натриевой соли цефатоксима даже в разбавленной области все исследуемые системы (СХТЗ, КМЦ и их смеси) находятся в виде динамических агрегатов (табл. 1).

**Таблица 1 – Степень агрегации макромолекул в водных растворах индивидуальных СХТЗ, КМЦ и смесей СХТЗ-КМЦ (в соотношении 2:1 % мас.) в присутствии ЛВ**

**Table 1 – Degree of aggregation of macromolecules in aqueous solutions of individual succinylchitosan (SCHT), sodium carboxymethyl cellulose (CMC), and SCHT-CMC mixtures (in a ratio of 2:1 % by mass) in the presence of drug substance (DS)**

| Содержание ЛВ, моль/л | Степень агрегации ( $\delta$ ) |
|-----------------------|--------------------------------|
| <b>СХТЗ-ЛВ</b>        |                                |
| -                     | $1,00 \pm 0,05$                |
| 0,025                 | $1,8 \pm 0,1$                  |
| 0,050                 | $2,1 \pm 0,1$                  |
| 0,075                 | $2,3 \pm 0,1$                  |
| 0,100                 | $2,3 \pm 0,1$                  |
| <b>КМЦ-ЛВ</b>         |                                |
| -                     | $1,00 \pm 0,05$                |
| 0,025                 | $4,0 \pm 0,2$                  |
| 0,050                 | $4,0 \pm 0,2$                  |
| 0,075                 | $4,0 \pm 0,2$                  |
| 0,100                 | $4,0 \pm 0,2$                  |
| <b>СХТЗ-КМЦ-ЛВ</b>    |                                |
| -                     | $1,20 \pm 0,05$                |
| 0,025                 | $2,0 \pm 0,1$                  |
| 0,050                 | $2,2 \pm 0,1$                  |
| 0,075                 | $2,5 \pm 0,1$                  |
| 0,100                 | $2,2 \pm 0,1$                  |

Как следует из данных таблицы 2, влияние содержания ЛВ на гидродинамический радиус агрегатов макромолекул в разбавленных (ниже концентрации кроссовера) растворах полисахаридов и их смесей

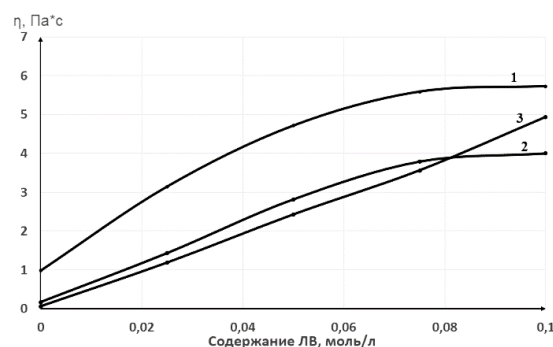
имеет экстермальный вид: концентрации ЛВ 0,05-0,075 моль/л радиус агрегатов понижается, что можно объяснить сжатием макромолекулярных клубков из-за увеличения ионной силы раствора; при более высоких концентрациях ЛВ эффект подавления полиэлектролитного набухания не проявляется (табл. 2) [21].

**Таблица 2 – Гидродинамический радиус агрегатов макроцепей ( $r$ , нм) в растворах индивидуальных СХТЗ и КМЦ и их смесей (в соотношении 2:1 % мас.) в отсутствии и в присутствии цефатоксима**

**Table 2 – Hydrodynamic radius of macrochain aggregates ( $r$ , nm) in solutions of individual SCHT and CMC and their mixtures (in a ratio of 2:1 % by mass) in the absence and presence of cefotaxime**

| Вид полимерной основы | Концентрация ЛВ в растворе, моль/л |       |      |       |     |
|-----------------------|------------------------------------|-------|------|-------|-----|
|                       | -                                  | 0,025 | 0,05 | 0,075 | 0,1 |
| СХТЗ                  | 165                                | 110   | 83   | 69    | 234 |
| КМЦ                   | 903                                | 786   | 548  | 270   | 308 |
| СХТЗ-КМЦ              | 853                                | 234   | 195  | 110   | 220 |

Из вида зависимостей наибольшей ньютоновской вязкости более концентрированных (от 0,5 %) растворов индивидуальных полисахаридов и их смесей от содержания цефатоксима (рис. 1) следует, что, при смешении СХТЗ с КМЦ увеличивается степень структурированности раствора как в присутствии, так и в отсутствии ЛВ, а во-вторых, степень структурированности раствора зависит от содержания ЛВ. Так, увеличение ионной силы раствора за счет введения ЛВ приводит не только к изменению конформации макромолекул, но и к изменению степени агрегации и степени структурирования макроцепей в растворе. Изменение конформации (сжатие клубков) приводит к снижению вязкости, а увеличение степени агрегации – к ее повышению. Поэтому существенное возрастание вязкости всех систем до концентрации ЛВ 0,075 моль/л свидетельствует о преобладании вклада агрегационных процессов.



**Рис. 1 – Зависимость наибольшей ньютоновской вязкости полимерных растворов от содержания ЛВ: индивидуального КМЦ (1); индивидуального СХТЗ (2); Смесь СХТЗ-КМЦ (в соотношении 2:1 % мас.) (3)**

**Fig. 1 – Dependence of the maximum Newtonian viscosity of polymer solutions on the content of DS: individual CMC (1); individual SCHT (2); SCHTR-CMC mixture (in a ratio of 2:1 % by mass) (3)**

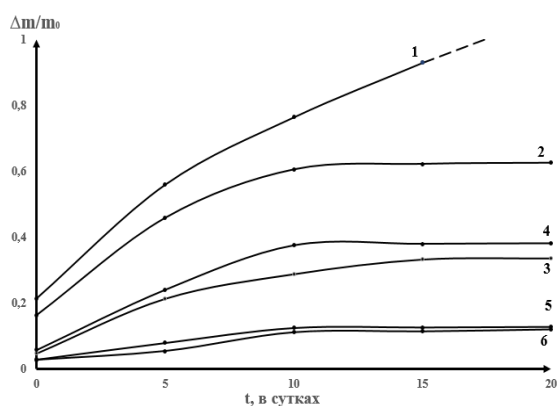
Различия в степенях структурированности растворов полисахаридов и их смесей в отсутствие и в присутствии ЛВ сохраняются и при переходе к конденсированным системам - пленкам. Об изменении плотности упаковки макромолекул и морфологии пленки при изменении состава формовочного раствора свидетельствуют результаты, представленные в таблице 3.

**Таблица 3 – Свойства пленочных образцов на основе растворов индивидуальных СХТЗ и КМЦ и смесей СХТЗ-КМЦ (в соотношении 2:1)**

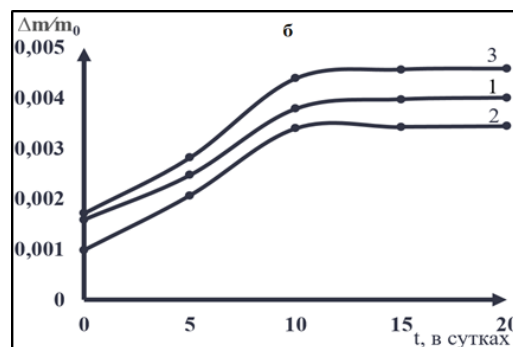
**Table 3 – Properties of film samples based on solutions of individual SCHT and CMC and SCHT-CMC mixtures (in a ratio of 2:1)**

| Мат-рица | ЛВ в формовочном растворе, моль/л | $\rho$ , г/см <sup>3</sup> | $V_{\text{общ}}$ , см <sup>3</sup> /г |
|----------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| КМЦ      | -                                 | 1,5328                     | 0,02                                  |
|          | 0,05                              | 1,3706                     | 0,03                                  |
|          | 0,10                              | 1,3037                     | 0,13                                  |
| СХТЗ     | -                                 | 1,5085                     | 0,01                                  |
|          | 0,05                              | 1,5752                     | 0,01                                  |
|          | 0,10                              | 1,5768                     | 0,01                                  |
| КМЦ-СХТЗ | -                                 | 1,3985                     | 0,14                                  |
|          | 0,05                              | 1,5827                     | 0,08                                  |
|          | 0,10                              | 1,1055                     | 0,23                                  |

Вид кинетической кривой сорбции паров воды (рис. 2, 3) показывает, что плёнки, полученные из растворов смесей полимеров, характеризуются ограниченной степенью набухания в парах воды по сравнению с пленками, индивидуальной натрий-N-сукцинилхитозана, у которого наблюдается неограниченное набухание с последующим растворением. При этом, увеличение содержания ЛВ приводит к уменьшению величины сорбции по парам воды, что обусловлено большей плотностью упаковки.



**Рис. 2 – Зависимость величины сорбции по парам воды пленок на основе раствора индивидуального СХТЗ без ЛВ (1); в присутствии 0,05 моль/л ЛВ (2); в присутствии 0,1 моль/л ЛВ (3); индивидуального раствора КМЦ без ЛВ (4); в присутствии 0,05 моль/л ЛВ (5); в присутствии 0,1 моль/л ЛВ (6)**  
**Fig. 2 – Dependence of sorption on water vapor for films based on an individual SCHT solution without DS (1); in the presence of 0.05 mol/L DS (2) in the presence of 0.1 mol/L DS (3); individual CMC solution without DS (4); in the presence of 0.05 mol/L DS (5); in the presence of 0.1 mol/L DS (6)**



**Рис. 3 – Зависимость величины сорбции по парам воды пленок на основе смеси СХТЗ-КМЦ без ЛВ (1); в присутствии 0,05 моль/л ЛВ (2); в присутствии 0,1 моль/л ЛВ (3)**

**Fig. 3 – Dependence of sorption on water vapor for films based on a mixture of SCHT-CMC without DS (1); in the presence of 0.05 mol/L DS (2); in the presence of 0.1 mol/L DS (3)**

Несомненно, что в том случае, когда пленка на основе полисахаридов содержит низкомолекулярный компонент – в данном случае ЛВ, должна существовать связь между процессами поглощения пленками воды и транспортом ЛВ из них. В связи с этим, можно ожидать, что полученные закономерности процесса поглощения воды найдут свое отражение в особенностях транспорта и пролонгации выхода лекарственных препаратов из смесевых полисахаридных пленок.

## Заключение

1. Растворы СХТЗ, КМЦ и смесей СХТЗ-КМЦ в присутствии цефатоксима как при относительно небольших концентрациях полимеров (до 0,2 %), так и в области более высоких концентраций (0,5-1 %) представляют собой агрегированные растворы взаимодействующих между собой макромолекул.

2. При смешении СХТЗ с КМЦ наблюдается увеличение вязкости по сравнению с растворами индивидуальных СХТЗ и КМЦ, а также степень структурированности раствора увеличивается при повышении содержания цефатоксима.

3. Плёночные образцы, полученные из растворов смесей полисахаридов СХТЗ и КМЦ, характеризуются меньшей степенью поглощения паров воды по сравнению с пленками, индивидуальной СХТЗ. При этом, увеличение содержания ЛВ приводит к уменьшению величины сорбции по парам воды, что обусловлено большей плотностью упаковки макромолекул.

## Литература

- Валиахметова Л. Р. *Достижения молодых ученых: химические науки: Сборник тезисов IX Всероссийской молодежной конференции*, (Уфа, Россия, 23–24 мая, 2024). Уфимский университет науки и технологий. Уфа, 2024. С. 261.
- Bazunova M.V., Lazdin R.Yu., Elinson M.R., Sharafutdinova L.A., Mustakimov R.A., Kulish E.I. *Chimica Techno Acta*, 9, 1, 1-7, (2022). DOI: 10.15826/chimtech.2022.9.1.08.

3. В.Н. Горшенев, Ю.А. Ершов, А.Т. Телешев, Е.Д. Склянчук, А.А. Просвирин, С.А. Григорьев. В сб. *Медицинская техника*. №1, Союз общественных объединений "Международное научно-техническое общество приборостроителей и метрологов, Москва, 2014. С. 30.
4. Скрыбин К.Г., Вихорева Г.А., Варламов В.П., Хитин и хитозан: Получение, свойства и применение. Наука, Москва, 2002. С.365.
5. М.В. Базунова, Б. Ф. Алмаев. *Вестник Технологического университета*, **10**, 111-116 (2023). DOI: 10.55421/1998-7072\_2023\_26\_10\_111.
6. Пат. Россия 2 644 339 C2 (2018).
7. Kononova S.V., Gubanova G.N., Romashkova K.A., Smirnova V.E., Popova E.N., Vlasova E.N., Kruchinina E.V., Gofman I.V., Saifutdinova I.F., Romanov D.P. *Polymer Science, Ser. A*, **58**, 3, 419–428 (2016). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0965545X16030111>.
8. Падохин В. А., Ганиев Р. Ф., Кочкина Н. Е. *ДАН*, **416**, 219-224 (2007).
9. Shurshina A.S., Chernova V.V., Lazdina M.Yu., Titlova A.S., Kulish E.I., *Letters on materials*, **12**, 3, 209-213 (2022) DOI: <https://doi.org/10.22226/2410-3535-2022-3-209-213>.
10. Ахметханов Р.М., Чернова В.В., Шуршина А.С., Лаздина М.Ю., Кулиш Е.И. *Конденсированные среды и межфазные границы*, **23**, 2, 188-195 (2021). DOI: 10.17308/kcmf.2021.23/3428.
11. Kulish E.I., Lazdin R.Y., Shurshina A.S., Kolesov S.V., Zakharova E.M., Zakharov V.P. *Polymer Science, Series A*, **63**, 1, 54-62 (2021). DOI: 10.1134/S0965545X21010053.
12. V. K. Varshney, S. Naithani, *Cellulose Fibers: Bio- and Nano-Polymer Composites*. Springer Berlin, Heidelberg, 2011, P.43–60.
13. В.И. Кленин, *Термодинамика систем с гибкоцепными полимерами*. Саратовский университет, Саратов, 1995, 143с.
14. В.И. Кленин, С.Ю. Щеголев, В.И. Лаврушин, *Характеристические функции светорассеяния дисперсных систем*. Саратовский университет, Саратов, 1977, 735 с.
15. В.И. Азаров, А.В. Буров, А.В. Оболенская, *Химия древесины и синтетических полимеров: учебник для вузов*. СПбЛТА, СПб. 1999, 628 с.
16. А.Ф. Николаев, Г.И. Охрименко, *Водорастворимые полимеры*. Химия, Ленинград. 1979. 144 с.
17. Е. Ю. Шачнева, З. А. Магомедова, Х. З. Малачиева, *Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства: IV Международная научная экологическая конференция (с участием экологов Азербайджана, Армении, Беларуси, Германии, Грузии, Казахстана, Киргизии, Латвии, Ливана, Молдовы, Приднестровья, России, Словакии, Узбекистана и Украины)*, (Краснодар, Россия, 24–25 марта, 2015). Кубанский государственный аграрный университет, 2015. Том 1. С. 481-483.
18. Базунова М.В., Шуршина А.С., Чернова В.В., Лаздин Р.Ю., Кулиш Е.И., *Высокомолекулярные соединения*, **65**, 1, 52-60 (2023). DOI: 10.31857/S2308113923700.
19. M. V. Bazunova, R. A. Mustakimov, E. I. Kulish. *Russian Journal of Physical Chemistry B*, **17**, 1, 182-190 (2023) DOI: 10.1134/s1990793123010025.
20. М. В. Базунова, Б. Ф. Алмаев, *Известия высших учебных заведений. Серия «Химия и химическая технология»*, **67**, 9, 45-52 (2024). DOI: 10.6060/ivkkt.20246709.6963.
21. К. В. Набутова, М. В. Базунова, Г. С. Яхина *Теоретические и экспериментальные исследования процессов синтеза, модификации и переработки полимеров: Сборник тезисов докладов IX Всероссийской (заочной) научной конференции*, (Уфа, Россия, 03–04 июня, 2024). РИЦ УУ-НиТ., Уфа, 2024. С. 61-63.

## References

1. Valiakhmetova L. R. *Achievements of young scientists: chemical sciences: Collection of abstracts of the IX All-Russian Youth Conference*, (Ufa, Russia, May 23-24, 2024). Ufa University of Science and Technology. Ufa, 2024. p. 261.
2. Bazunova M.V., Lazdin R.Yu., Elinson M.R., Sharafutdinova L.A., Mustakimov R.A., Laugh E.I. *Chimica Techno Acta*, **9**, 1, 1-7, (2022). DOI: 10.15826/chimtech.2022.9.1.08
3. V.N. Gorshenev, Yu.A. Yershov, A.T. Teleshev, E.D. Sklyanchuk, A.A. Prosvirin, S.A. Grigoriev. In the collection of *Medical equipment*. No. 1, Union of Public Associations "International Scientific and Technical Society of Instrument Makers and Metrologists, Moscow, 2014. p. 30.
4. Scriabin K.G., Vikhoreva G.A., Varlamov V.P., *Chitin and chitosan: Obtaining, properties, and application*. Nauka, Moscow, 2002. p. 365.
5. M.V. Bazunova, B. F. Almaev. *Herald of Technological University*, **10**, 111-116 (2023). DOI: 10.55421/1998-7072\_2023\_26\_10\_111.
6. Pat. Russia 2,644,339 C2 (2018).
7. Kononova S.V., Gubanova G.N., Romashkova K.A., Smirnova V.E., Popova E.N., Vlasova E.N., Kruchinina E.V., Gofman I.V., Saifutdinova I.F., Romanov D.P. *Polymer Science, Ser. A*, **58**, 3, 419–428 (2016). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0965545X16030111>.
8. Padokhin V. A., Ganiev R. F., Kochkina N. E. *DAS*. **416**, 219-224 (2007).
9. Shurshina A.S., Chernova V.V., Lazdina M.Yu., Titlova A.S., Kulish E.I., *Letters on materials*, **12**, 3, 209-213 (2022) DOI: <https://doi.org/10.22226/2410-3535-2022-3-209-213>.
10. Akhmetkhanov R.M., Chernova V.V., Shurshina A.S., Lazdina M.Yu., Kulish E.I. *Condensed matter and interphase boundaries*, **23**, 2, 188-195 (2021). DOI: 10.17308/kcmf.2021.23/3428
11. Kulish E.I., Lazdin R.Y., Shurshina A.S., Kolesov S.V., Zakharova E.M., Zakharov V.P. *Polymer Science, Series A*, **63**, 1, 54-62 (2021). DOI: 10.1134/S0965545X21010053
12. V. K. Varshney, S. Naithani, *Cellulose Fibers: Bio- and Nano-Polymer Composites*. Springer Berlin, Heidelberg, 2011, P.43–60.
13. V.I. Klenin, *Thermodynamics of systems with flexible-chain polymers*. Saratov University, Saratov, 1995, 143 p.
14. V.I. Klenin, S.Y. Shchegolev, V.I. Lavrushin, *Characteristic functions of light scattering of dispersed systems*. Saratov University, Saratov, 1977, 735 p.
15. V.I. Azarov, A.V. Burov, A.V. Obolenskaya, *Chemistry of wood and synthetic polymers: textbook for universities*. SPbLTA, ST. PETERSBURG, 1999, 628 p.
16. A.F. Nikolaev, G.I. Okhrimenko, *Water-soluble polymers*. Chemistry, Leningrad. 1979. 144p.
17. E. Y. Shachneva, Z. A. Magomedova, H. Z. Malachieva, *Problems of reclamation of household waste, industrial and agricultural production: IV International Scientific Ecological Conference (with the participation of ecologists from Azerbaijan, Armenia, Belarus, Germany, Georgia, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Latvia, Lebanon, Moldova, Transnistria, Russia, Slovakia, Uzbekistan and Ukraine)*, (Krasnodar, Russia, March 24-25, 2015). Kuban State Agrarian University, 2015. Volume 1. pp. 481-483
18. Bazunova M.V., Shurshina A.S., Chernova V.V., Lazdin R.Yu., Kulish E.I., *High molecular weight compounds*, **65**, 1, 52-60 (2023). DOI: 10.31857/S2308113923700.
19. M. V. Bazunova, R. A. Mustakimov, E. I. Kulish. *Russian Journal of Physical Chemistry B*, **17**, 1, 182-190 (2023) DOI: 10.1134/s1990793123010025.
20. M. V. Bazunova, B. F. Almaev, *Proceedings of Higher Educational Institutions. The series "Chemistry and Chemical Technology"*, **67**, 9, 45-52 (2024). DOI: 10.6060/ivkkt.20246709.6963.

21. K. V. Nabutova, M. V. Bazunova, G. S. Yakhina *Theoretical and experimental studies of polymer synthesis, modification and processing processes: Collection of abstracts of the*

*IX All-Russian (correspondence) Scientific Conference, (Ufa, Russia, June 03-04, 2024). RIC UUNiT, Ufa, 2024. p. 61-63.*

---

© **М. В. Базунова** – доцент, кафедра Высокмолекулярных соединений и общей химической технологии, Уфимский университет науки и технологий (УУНТ), Уфа, Россия, mbazunova@mail.ru; **К. В. Набутова** – магистрант 1 года обучения, УУНТ, nabutovak@gmail.com; **Г. С. Яхина** – студент 4 курса, УУНТ, yahinagulnur@mail.ru.

© **M. V. Bazunova** – Associate Professor, Department of Macromolecular Compounds and General Chemical Technology, Ufa University of Science and Technology (UUST), Ufa, Russia, mbazunova@mail.ru; **K. V. Nabutova** – Master-student of 1 year of study, UUST, nabutovak@gmail.com; **G. S. Yakhina** – 4th year Student, UUST, yahinagulnur@mail.ru.

Дата поступления рукописи в редакцию – 29.03.25.

Дата принятия рукописи в печать – 08.05.25.