

УДК 661.185

А.А. Маклакова, Н.Г. Воронько, С.Р. Деркач, Г.И. Кадырова, К.В. Зотова

Взаимодействие желатины с κ-каррагинаном по данным ИК-спектроскопии

А.А. Maklakova, N.G. Voron'ko, S.R. Derkach, G.I. Kadyrova, K.V. Zotova

Interaction of gelatin with κ-carrageenan according to IR spectroscopy

Аннотация. Исследованы низкоконцентрированные гидрогели желатины (2,0 % масс.) с катионным полисахаридом κ-каррагинаном в диапазоне малых концентраций (0,1-1,0 % масс.) методом Фурье ИК-спектроскопии. Анализ ИК-спектров гелей желатины с полисахаридом обнаруживает смещение характеристических полос амидных групп макромолекул желатины в низкочастотную область. При этом наблюдается также смещение полос сульфатных групп κ-каррагинана в область низких частот. Показано, что увеличение концентрации κ-каррагинана в исследованном диапазоне не оказывает существенного влияния на спектральные характеристики гелей. Рассмотрена схема электростатических взаимодействий желатины с κ-каррагинаном при формировании полиэлектролитных комплексов в водных системах. Образование комплексов сопровождается конформационными изменениями макромолекул желатины.

Abstract. Low-concentrated gelatin hydrogels (2.0 % wt.) with additives of cationic polysaccharide κ-carrageenan in the range of low concentrations (0.1-1.0 % wt.) have been studied by the FTIR spectroscopic method. Analysis of the infrared (IR) spectra of the gelatin-polysaccharide gels has shown the characteristic bands displacement of the gelatin Amide groups to lower frequencies. At the same time there is also the fringe shift of κ-carrageenan sulfate groups to low frequencies. It has been shown that increasing in the κ-carrageenan concentration in the investigated range has no significant effect on the gels spectral characteristics. The scheme of electrostatic interactions of gelatin and κ-carrageenan at the polyelectrolyte complexes formation has been shown. Formation of complexes is accompanied by the conformation changes of the gelatin macromolecules.

Ключевые слова: гели, желатина, полисахариды, κ-каррагинан, полиэлектролитные комплексы, ИК-спектроскопия

Key words: gels, gelatin, polysaccharide, κ-carrageenan, polyelectrolyte complexes, IR spectroscopy

1. Введение

Биополимер желатина обладает уникальной способностью к термообратимому гелеобразованию. Это свойство определяет ее широкое использование в различных технологиях пищевой, фармакологической и косметической отраслях промышленности при создании гелеобразных продуктов (Schrieber, Garies, 2007; Johnston-Banks, 1990). Однако желатина (при ее использовании в чистом виде) не всегда соответствует необходимым технологическим требованиям. Новые возможности для получения специфических свойств гелей открываются при совместном использовании нескольких гелеобразователей. Так, в частности перспективными материалами являются смеси желатины с полисахаридами (Pranoto et al., 2007; Devi, Kumar, 2010), например, с κ-каррагинаном (Деркач и др., 2014). Известно, что в водных смесях желатина и ионный полисахарид взаимодействуют с образованием полиэлектролитных комплексов (Изумрудов, 2008; Hosseini, 2013; Xiao et al., 2001; Devi, Kumar, 2010), которые выступают в качестве гелеобразования в смешанных системах.

Изменение макромолекулярной структуры желатины при взаимодействии с полисахаридом изучается различными физико-химическими методами. При этом широко используется метод Фурье инфракрасной спектроскопии (ИК-спектроскопия) (Stuart, 2004), который является информативным методом, позволяющим охарактеризовать структурные изменения макромолекул биополимеров при их взаимодействии.

В ряде работ представлены результаты исследования различных желатин методом ИК-спектроскопии. В работах (Muyonga et al., 2004; Rajeev Bhat, Karim, 2009) исследовано влияние природы сырья, из которого получены желатины, на характеристические полосы поглощения Амид I, Амид II и Амид III различных желатин типа А. Методами ИК-спектроскопии с Фурье-преобразованием (Pranoto et al., 2007) получены ИК-спектры пропускания для желатины, полученной из кожи и костей рыбы. В работе (Prystupa, Donald, 1996) показана зависимость ИК-спектров желатины из кожи животных от изменения конформации макромолекул, происходящих при изменении температуры.

В последние годы появляется большое число публикаций, посвященных исследованию рыбных желатин, что особенно актуально для стран с развитой рыбной промышленностью. Так, например, в работах (Haug et al., 2004; Eysturskard et al., 2009; Norland, 1990) исследованы гелеобразующие свойства желатин из кожи рыбы и млекопитающих и показано, что желатина, полученная из кожи и костей рыбы, может служить хорошей альтернативой желатине животного происхождения (из кожи быков и свиней).

Метод ИК-спектроскопии используют для изучения взаимодействия рыбной желатины с полисахаридами (Pranoto et al., 2007; Hosseini, 2013). При исследовании ИК-спектров гелеобразных пленок (Xiao et al., 2001), полученных из растворов желатины с добавками альгината натрия, показано, что с увеличением содержания альгината натрия наблюдается изменение структуры формирующихся пленок. При этом отмечается смещение характеристической полосы поглощения группы Амид I желатины. При исследовании рыбной желатины в присутствии κ-каррагинана (Devi, Kumar, 2010) наблюдаются смещения основных полос пропускания амидных групп желатины вследствие формирования полиэлектролитных комплексов желатины типа А с полисахаридом. Однако следует отметить, что особенности и детали взаимодействия желатины с полисахаридами при образовании комплексов до конца не изучены.

Настоящая работа посвящена исследованию взаимодействия желатины и κ-каррагинана на молекулярном уровне методом Фурье ИК-спектроскопии с целью уточнения механизма формирования полиэлектролитных комплексов.

2. Объекты и методы исследования

Использовали желатину типа В из бычьей кожи с твердостью по Блуму 225 (Gelatin Type B from bovine skin 225 Bloom) производства *Sigma-Aldrich*. Изоэлектрическая точка pI желатины сдвинута в кислую область. Согласно вискозиметрическим и турбидиметрическим измерениям для использованной желатины pI = 4,9. Средневязкостная молекулярная масса желатины $\bar{M}_v = 96$ кДа определена вискозиметрическим методом по уравнению Марка – Куна – Хаувинка (Beiß, 1976).

Образцы κ-каррагинана производства *Sigma-Aldrich* со средневязкостной молекулярной массой $\bar{M}_v = 4.3 \cdot 10^5$ (Деркач и др., 2014) использовали без дополнительной очистки. Каррагинан – биополимер, получаемый из красных морских водорослей, карабиозная единица которого представляет собой соединенные звенья β-D-галактопиранозы, сульфатированной в четвертом положении углерода и 3,6-ангидро-D-галактопиранозы. Структурная формула κ-каррагинана приведена на рис. 1.

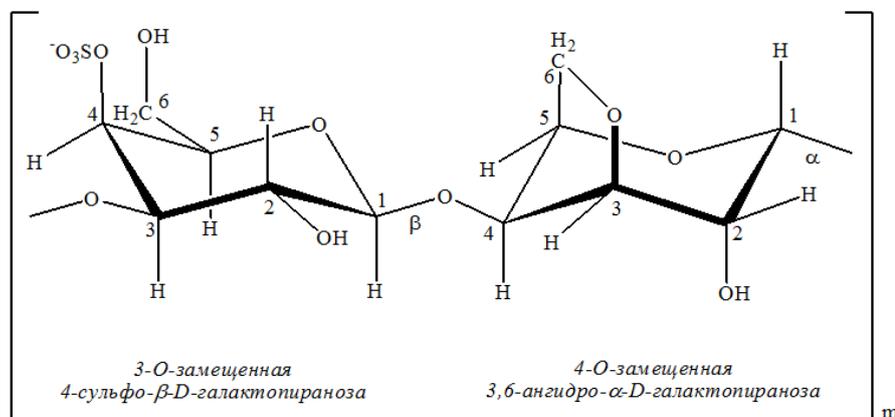


Рис. 1. Структурная формула κ-каррагинана

Подготовку образцов для исследования методом ИК-спектроскопии осуществляли следующим образом. Вначале получали гидрогели. Для этого готовили отдельные водные растворы желатины с концентрацией 1,0 % масс. и κ-каррагинана в диапазоне концентраций 0,1-1,0 % масс. Растворы смешивали в заданных объемных соотношениях при температуре 40 °С, затем охлаждали до $T = 12$ °С и выдерживали при этой температуре в течение 3 часов. Затем гели замораживали при температуре $T = -6$ °С, после чего размораживали в темноте при $T = 22$ °С и образовавшуюся смесь центрифугировали. Выпавший осадок отфильтровывали, высушивали в сушильном шкафу при $T = 50$ °С в течение 5 часов и затем при $T = 25$ °С в течение 20 часов. Полученные сухие пленки измельчали на шаровой мельнице до состояния высокодисперсного порошка, из которого готовили таблетку (с добавлением КВг) в качестве образца для регистрации ИК-спектра.

ИК-спектры исследуемых образцов регистрировали на ИК-Фурье спектрометре Thermo Nicolet 6700 в среднем диапазоне инфракрасного излучения $400-4\,000\text{ см}^{-1}$. Использовали детектор DTGS (deuterated triglycine sulfate detector). Разрешение прибора – $0,4\text{ см}^{-1}$.

3. Результаты и обсуждения

На рис. 2 представлены ИК-спектры для образцов гелей κ-каррагинана (без желатины).

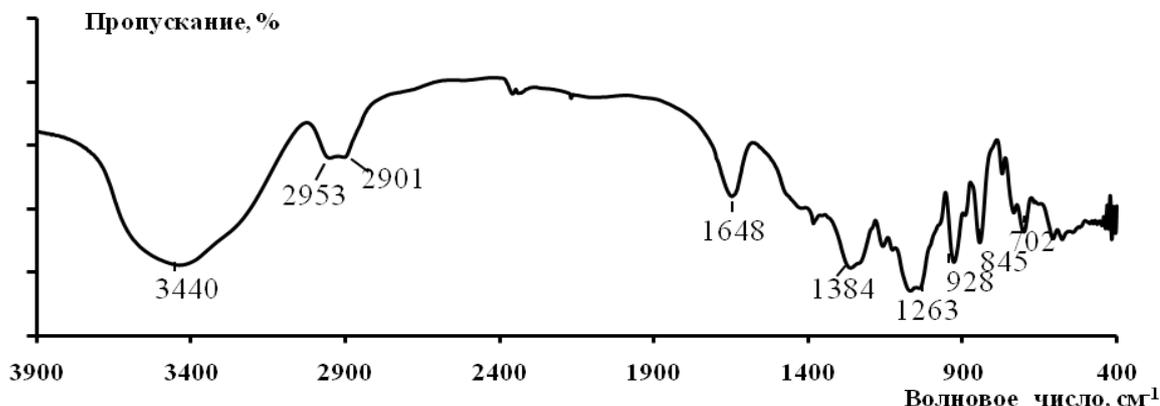


Рис. 2. ИК Фурье-спектры образцов гелей κ-каррагинана

Отнесение полос поглощения в ИК-спектре κ-каррагинана к колебаниям соответствующих функциональных групп (табл. 1) выполнено в соответствии с данными работы (Murat, Nazan, 2010). Основные полосы поглощения отвечают эфирной сульфатной группе ($1\,263\text{ см}^{-1}$), 3,6-ангидрогалактозной группе (928 см^{-1}) и D-галактозо-4-сульфатной группе (848 см^{-1}). Широкая полоса поглощения с пиком при частоте $3\,420\text{ см}^{-1}$ соответствует колебаниям гидроксильной группы κ-каррагинана. Полученные данные (рис. 2) хорошо совпадают с опубликованными для κ-каррагинана ИК-спектрами (Gomez-Ordenez, Rupez, 2011; Bartolomeu et al., 2012; Freile-Pelegrin et al., 2011).

Таблица 1. Основные полосы поглощения функциональных групп каппа-каррагинана (Gomez-Ordenez, Rupez, 2011)

Функциональная группа	Волновое число ν , см^{-1}
ОН-внутримолекулярный	3 200-3 600
C=O	1 620-1 640
Сульфогруппа S=O	1 230-1 270
Гликозидные связи	1 100-1 080
3,6-ангидро-D-галактоза	1 070, 928-933
D-галактоза-4-сульфогруппа	840-850

Основными полосами поглощения для желатины являются (Ямпольская и др., 2005; Prystupa, Donald, 1996; Gómez-Guillén et al., 2011): широкая полоса с пиком при частоте $3\,400\text{ см}^{-1}$ (колебания группы –NH), характерные поглощения при частотах $1\,654\text{ см}^{-1}$ (Амид I, валентные колебания групп CO, CN), $1\,541\text{ см}^{-1}$ (Амид II, колебания N-H и CN) и $1\,230\text{ см}^{-1}$ (Амид III). Известно, что в качестве аналитической полосы для характеристики вторичной структуры белка (желатины) при анализе ИК-спектральных данных наиболее информативной является полоса Амид I (Muyonga et al., 2004). Полосы поглощения характеристических групп желатины приведены в табл. 2.

Таблица 2. Основные полосы поглощения функциональных групп желатины (Ямпольская и др., 2005; Prystupa, Donald, 1996)

Функциональная группа	Волновое число ν , см^{-1}
Амид А (NH)	3 320-3 370
Амид I (CO, CN)	1 650-1 680
Амид II (CH, NH)	1 530-1 550
Амид III (CN, NH)	1 240

На рис. 3 представлены ИК-спектры гелей желатины без полисахарида и с добавками к-каррагинана.

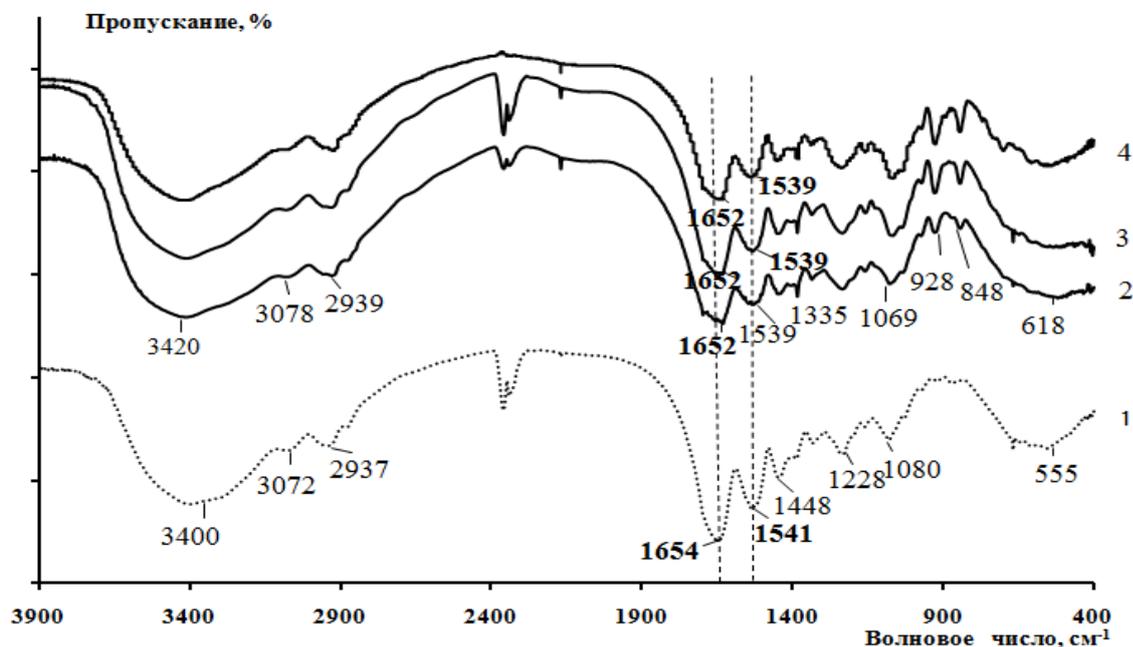


Рис. 3. ИК Фурье-спектры образцов гелей желатины ($C_G = 2.0\%$) (1) и желатины той же концентрации с добавками к-каррагинана $C_k, \%$: 0.1 (2), 0.5 (3), 1.0 (4)

Как видно из рис. 3, введение добавок к-каррагинана приводит к смещению полосы Амид I в низкочастотную область до частоты 1652 см^{-1} , полоса поглощения Амид II также сдвигается в область низких частот до 1539 см^{-1} .

При этом необходимо отметить низкочастотный сдвиг полосы пропускания сульфатных групп к-каррагинана до 1228 см^{-1} (рис. 3). Наблюдаемые сдвиги свидетельствуют о взаимодействии положительно заряженных амидных групп полипептидной цепи желатины с имеющимися в к-каррагинане отрицательно заряженными сульфатными группами. Полученные данные свидетельствуют об электростатической природе (электростатических взаимодействиях) формирования полиэлектролитных комплексов желатины с полисахаридом. Схема взаимодействия противоположно заряженных функциональных групп желатины и к-каррагинана представлена на рис. 4.

На рис. 5 приведены зависимости интенсивность полосы пропускания групп Амид I 1652 см^{-1} от концентрации к-каррагинана в геле желатины (кривая 1). Видно, что при увеличении концентрации полисахарида интенсивность полосы увеличивается. На рис. 5 показана также зависимость сдвига полосы пропускания, соответствующей группе Амид I макромолекулы желатины (кривая 2) от концентрации полисахарида. Наблюдается сдвиг полосы в низкочастотную область $\Delta\nu = 2\text{ см}^{-1}$ при введении к-каррагинана по сравнению с гелем желатины без полисахарида. При этом найдено, что величина сдвига остается постоянной, не зависит от концентрации (в исследованном диапазоне) полисахарида в геле.

На рис. 5 приведены зависимости интенсивность полосы пропускания групп Амид I 1652 см^{-1} от концентрации к-каррагинана в геле желатины (кривая 1). Видно, что при увеличении концентрации полисахарида интенсивность полосы увеличивается. На рис. 5 показана также зависимость сдвига полосы пропускания, соответствующей группе Амид I макромолекулы желатины (кривая 2), от концентрации полисахарида. Наблюдается сдвиг полосы в низкочастотную область $\Delta\nu = 2\text{ см}^{-1}$ при введении к-каррагинана по сравнению с гелем желатины без полисахарида. При этом найдено, что величина сдвига остается постоянной, не зависит от концентрации (в исследованном диапазоне) полисахарида в геле.

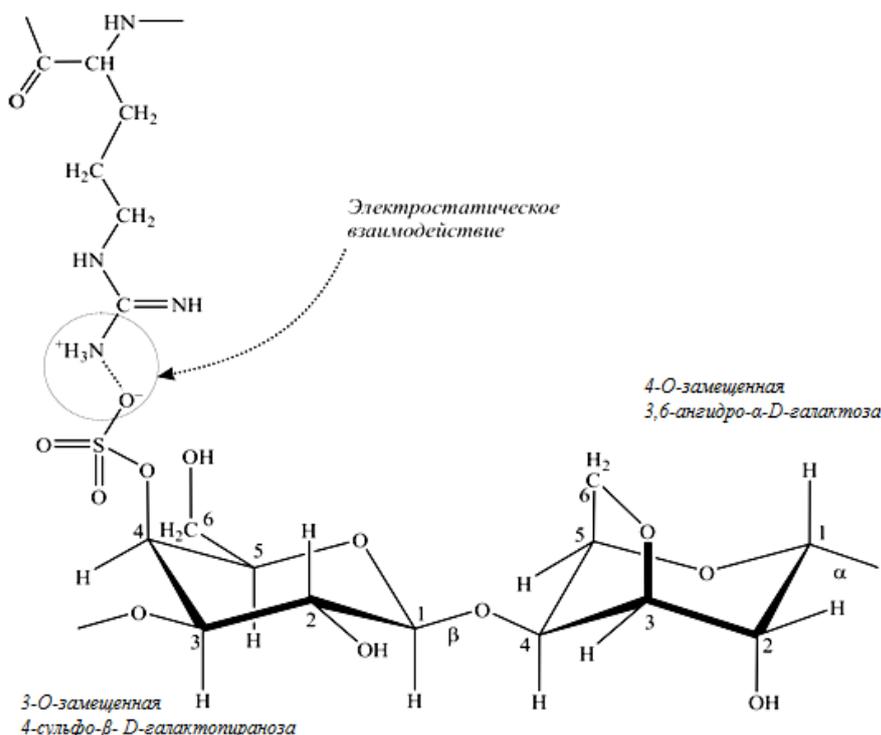


Рис. 4. Схема электростатического взаимодействия желатины с каррабиозной единицей κ-каррагинана

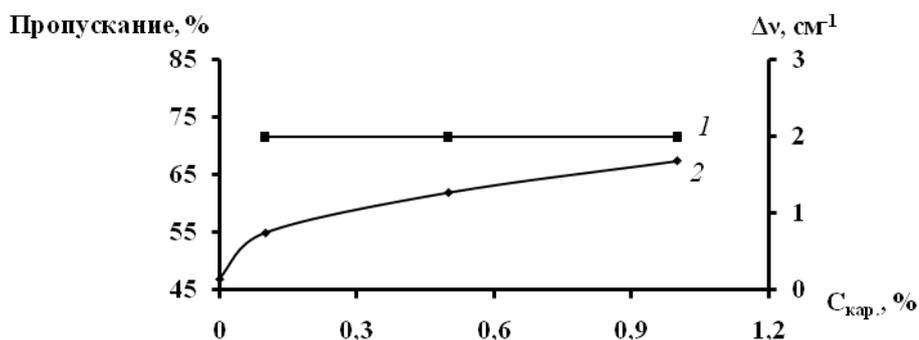


Рис. 5. Зависимости интенсивности (1) полосы пропускания группы Амид I, 1652 см^{-1} и сдвига (2) полосы Амид I макромолекулы желатины, для гелей желатины с добавками κ-каррагинана от концентрации полисахарида

Известно (Stuart, 2004), что сложный контур полосы Амид I качественно объясняется наложением полос, отвечающих различным конформационным состояниям полипептидной цепи. Клубку соответствует полоса 1656 см^{-1} , спирали – 1650 см^{-1} , параллельной укладке цепей – 1630 см^{-1} , антипараллельной укладке – 1685 см^{-1} . Смещение полосы Амид I в низкочастотную область для гелей с добавками κ-каррагинана по сравнению с чистым гелем желатины дает основание полагать, что конформационное состояние макромолекул желатины при комплексообразовании с κ-каррагинаном меняется в сторону увеличения доли упорядоченных структур.

В работе (Деркач и др., 2014) изучены реологические свойства гелей желатины с κ-каррагинаном и показано, что добавление κ-каррагинана приводит к увеличению предела текучести и модуля упругости геля желатины. Совместный анализ результатов рассматриваемой работы и работы (Деркач и др., 2014) позволяет сделать вывод, что причина возрастания прочности и вязкоупругих свойств гелей связана с изменением конформационного состояния макромолекул желатины при формировании межмолекулярных контактов с полисахаридом.

4. Заключение

Методом Фурье ИК-спектроскопии исследовано взаимодействие макромолекул биополимеров – желатины и κ-каррагинана в гидрогелях. Обнаружено смещение характеристических полос пропускания (Амид I, Амид II) амидных групп желатины и эфирной сульфатной группы κ-каррагинана в низкочастотную область ИК-спектра. Наблюдаемые спектральные изменения объясняются возникновением электростатических взаимодействий противоположно заряженных функциональных групп макромолекул биополимеров при формировании полиэлектролитных комплексов в водных системах. Найдено, что увеличение концентрации κ-каррагинана в гидрогеле приводит к увеличению интенсивности полосы пропускания, соответствующей группе Амид I, при этом сдвиг характеристической полосы Амид I не изменяется. Анализ Фурье ИК-спектров показывает, что комплексообразование с полисахаридом приводит к конформационным изменениям макромолекул желатины, сопровождающимся увеличением доли упорядоченных структур.

Литература

- Bartolomeu W.S., Miguel A. et. al.** Chemical characterization and antioxidant activity of sulfated polysaccharide from the red seaweed *Gracilaria birdiae*. *Food Hydrocolloids*, v. 27, p. 287-292, 2012.
- Devi N., Kumar M.** Genipin crosslinked microcapsules of gelatin A and κ-carrageenan polyelectrolyte complex for encapsulation of Neem (*Azadirachta Indica A.Juss.*) seed oil. *Polym. Bull.*, v. 65, p. 347-362, 2010.
- Eysturskard J., Haug I.J., Ulset Ann-Sissel, Draget K.I.** Mechanical properties of mammalian and fish gelatins based on their weight, average molecular weight and molecular weight distribution. *Food Hydrocolloids*, v. 23, p. 2315-2321, 2009.
- Freile-Pelegrin Y., Azamar J.A., Robledo D.** Preliminary characterization of carrageenan from the red seaweed *Halymenia floresii*. *J. Aquatic Food Product Technology*, v. 20, p. 73-83, 2011.
- Gómez-Guillén M.C., Giménez B., López-Caballero M.E., Montero M.P.** Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. *Food Hydrocolloids*, v. 25, p. 1813-1827, 2011.
- Gomez-Ordóñez E., Rupez P.** FTIR-ATR spectroscopy as a tool for polysaccharide identification in edible brown and red seaweeds. *Food Hydrocolloids*, v. 25, p. 1514-1520, 2011.
- Haug I.J., Draget Kurt I., Smidsrød O.** Physical behavior of fish gelatin – κ-carrageenan mixtures. *Carbohydrate Polymers*, v. 56, p. 11-19, 2004.
- Hosseini Seyed Fakhreddin, Masoud Rezaei et al.** Preparation and functional properties of fish gelatin-chitosan blend edible films. *Food Chemistry*, v. 136, p. 1490-1495, 2013.
- Johnston-Banks F.A.** Gelatin in "Food gels". Ed. P. Harris, London, Elsevier Applied Science Publishers, p. 233-289, 1990.
- Murat S., Nazan E.** Determination of critical gelation conditions of κ-carrageenan by viscosimetric and FT-IR analyses. *Food Research International*, v. 43, p. 1361-1364, 2010.
- Muyonga J.H., Cole C.G.B., Duodu K.G.** Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopic study of acid soluble collagen and gelatin from skins and bones of young and adult Nile perch. *Foods chemistry*, v. 86, p. 325-332, 2004.
- Norland R.E.** Fish gelatin. Advances in fisheries technology and biotechnology for increased profitability. Eds.: M.N. Voight & J.K. Botta, Lancaster, Technomic Publishing Co., p. 325-333, 1990.
- Pranoto Y., Chong Min Lee, Hyun Jin Park.** Characterizations of fish gelatin films aged with gellan and κ-carrageenan. *LWT*, v. 40, p. 766-774, 2007.
- Prystupa D.A., Donald A.M.** Infrared study of gelatin conformations in the gel and sol states. *Polymer Gels and Networks*, v. 4, p. 87-110, 1996.
- Rajeev Bhat, Karim A.A.** Ultraviolet irradiation improves gel strength of fish gelatin. *Food chemistry*, v. 113, p. 1160-1164, 2009.
- Schrieber R., Gareis H.** Gelatin handbook. Theory and industrial practice. Weinheim, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., KgaA, p. 334, 2007.
- Stuart B.** Infrared spectroscopy: Fundamentals and applications. John Wiley & Sons, Ltd., p. 221, 2004.
- Xiao C., Liu H., Lu Y., Zhang L.** Blend films from sodium alginate and gelatin solutions. *J. Macromol. Sci. Appl. Chem.*, v. 38(3), p. 317-328, 2001.
- Вейс А.** Макромолекулярная химия желатина. М., Пищевая промышленность, 468 с., 1976.
- Деркач С.Р., Воронько Н.Г., Маклакова А.А. и др.** Реологические свойства гелей желатины с κ-каррагинаном: роль полисахарида. *Коллоидный журнал*, т. 76(2), с. 164-170, 2014.
- Изумрудов В.А.** Явление самосборки и молекулярного узнавания в растворах биополиэлектролитных комплексов. *Успехи химии*, т. 77, № 4, с. 401-415, 2008.

Ямпольская Г.П., Тарасевич Б.Н., Еленский А.А. Вторичная структура глобулярных белков в адсорбционных слоях на границе фаз раствор-воздух по данным ИК-спектроскопии с Фурье-преобразованием. *Коллоидный журнал*, т. 67, № 3, с. 426-432, 2005.

References

- Bartolomeu W.S., Miguel A. et. al.** Chemical characterization and antioxidant activity of sulfated polysaccharide from the red seaweed *Gracilaria birdiae*. *Food Hydrocolloids*, v. 27, p. 287-292, 2012.
- Devi N., Kumar M.** Genipin crosslinked microcapsules of gelatin A and κ -carrageenan polyelectrolyte complex for encapsulation of Neem (*Azadirachta Indica* A.Juss.) seed oil. *Polym. Bull.*, v. 65, p. 347-362, 2010.
- Eysturskard J., Haug I.J., Ulset Ann-Sissel, Draget K.I.** Mechanical properties of mammalian and fish gelatins based on their weight average molecular weight and molecular weight distribution. *Food Hydrocolloids*, v. 23, p. 2315-2321, 2009.
- Freile-Pelegrin Y., Azamar J.A., Robledo D.** Preliminary characterization of carrageenan from the red seaweed *Halymenia floresii*. *J. Aquatic Food Product Technology*, v. 20, p. 73-83, 2011.
- Gómez-Guillén M.C., Giménez B., López-Caballero M.E., Montero M.P.** Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. *Food Hydrocolloids*, v. 25, p. 1813-1827, 2011.
- Gomez-Ordóñez E., Rupež P.** FTIR-ATR spectroscopy as a tool for polysaccharide identification in edible brown and red seaweeds. *Food Hydrocolloids*, v. 25, p. 1514-1520, 2011.
- Haug I.J., Draget Kurt I., Smidsrød O.** Physical behavior of fish gelatin- κ -carrageenan mixtures. *Carbohydrate Polymers*, v. 56, p. 11-19, 2004.
- Johnston-Banks F.A.** Gelatin in "Food gels". Ed. P. Harris, London, Elsevier Applied Science Publishers, p. 233-289, 1990.
- Murat S., Nazan E.** Determination of critical gelation conditions of κ -carrageenan by viscosimetric and FT-IR analyses. *Food Research International*, v. 43, p. 1361-1364, 2010.
- Muyonga J.H., Cole C.G.B., Duodu K.G.** Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopic study of acid soluble collagen and gelatin from skins and bones of young and adult Nile perch. *Foods chemistry*, v. 86, p. 325-332, 2004.
- Norland R.E.** Fish gelatin. *Advances in fisheries technology and biotechnology for increased profitability*. Eds.: M.N. Voight, & J.K. Botta, Lancaster, Technomic Publishing Co., p. 325-333, 1990.
- Pranoto Y., Chong Min Lee, Hyun Jin Park.** Characterizations of fish gelatin films aged with gellan and κ -carrageenan. *LWT*, v. 40, p. 766-774, 2007.
- Prystupa D.A., Donald A.M.** Infrared study of gelatin conformations in the gel and sol states. *Polymer Gels and Networks*, v. 4, p. 87-110, 1996.
- Rajeev Bhat, Karim A.A.** Ultraviolet irradiation improves gel strength of fish gelatin. *Food chemistry*, v. 113, p. 1160-1164, 2009.
- Schrieber R., Gareis H.** Gelatin handbook. Theory and industrial practice. Weinheim, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., KgaA, p. 334, 2007.
- Hosseini Seyed Fakhreddin, Masoud Rezaei et al.** Preparation and functional properties of fish gelatin-chitosan blend edible films. *Food Chemistry*, v. 136, p. 1490-1495, 2013.
- Stuart B.** Infrared spectroscopy: Fundamentals and applications. John Wiley & Sons, Ltd., p. 221, 2004.
- Xiao C., Liu H., Lu Y., Zhang L.** Blend films from sodium alginate and gelatin solutions. *J. Macromol. Sci. Appl. Chem.*, v. 38(3), p. 317-328, 2001.
- Veis A.** Makromolekulyarnaya himia zhelatina [Chemistry of gelatin macromolecules]. M., Pishevaya promyshlennost', 468 p., 1976.
- Derkach S.R., Voronko N.G., Maklakova A.A. i dr.** Reologicheskie svoystva geley zhelatinyi s κ -karraginanom: rol polisaharida [Reology of gelatin- κ -carrageenan gels: The role of polysaccharide]. *Kolloidnyy zhurnal*, t. 76(2), p. 164-170, 2014.
- Izumrudov V.A.** Yavlenie samosborki i molekulyarnogo uznvaniya v rastvorah biopolielektrolitnyih kompleksov [The phenomenon of self-assembly and molecular recognition biopolymers complexes in solutions]. *Uspehi himii*, t. 77, N 4, p. 401-415, 2008.
- Yampolskaya G.P., Tarasevich B.N., Elenskiy A.A.** Vtorichnaya struktura globulyarnyih belkov v adsorbtsionnyih sloyah na granitse faz rastvor-vozduh po dannyim IK-spektroskopii s Fure-preobrazovaniem [The secondary structure of globular proteins in the adsorption layers at the interface solution for air-IR spectroscopy with Fourier transform]. *Kolloidnyy zhurnal*, t. 67, N 3, p. 426-432, 2005.

Информация об авторах

Маклакова Александра Александровна – Факультет пищевых технологий и биологии МГТУ, кафедра химии, аспирант, e-mail: kijo@ya.ru

Маклакова А.А. – Faculty of Food Technologies and Biology of MSTU, Chemistry Department, Ph.D. Student, e-mail: kijo@ya.ru

Воронько Николай Георгиевич – Факультет пищевых технологий и биологии МГТУ, кафедра химии, канд. тех. наук, доцент, стар. науч. сотрудник, e-mail: voronkonikolay@mail.ru

Voronko N.G. – Faculty of Food Technologies and Biology of MSTU, Chemistry Department, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, Senior Researcher, e-mail: voronkonikolay@mail.ru

Деркач Светлана Ростиславовна – проректор по научной работе, докт. хим. наук, профессор кафедры химии факультета пищевых технологий и биологии МГТУ, e-mail: derkachsr@mstu.edu.ru

Derkach S.R. – Vice-Rector for Research, Dr of Chem. Sci., Professor, Chemistry Department of Faculty of Food Technologies and Biology of MSTU, e-mail: derkachsr@mstu.edu.ru

Кадырова Галина Измайловна – Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева КНЦ РАН, лаборатория физико-химических методов анализа, канд. техн. наук, стар. науч. сотрудник

Kadyrova G.I. – I.V. Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Minerals KSC RAS, Laboratory of Physical and Chemical Methods of Analysis, Cand. of Tech. Sci., Senior Researcher

Зотова Кира Вениаминовна – Факультет пищевых технологий и биологии МГТУ, кафедра химии, докт. хим. наук, профессор

Zotova K.V. – Faculty of Food Technologies and Biology of MSTU, Chemistry Department, Dr of Chem. Sci., Professor