

## Стабилизация красящих веществ в составе инклюзионных наноконплексов на основе продуктов переработки крахмала

Канд. хим. наук **Н.В. Рудометова**, natrudjob@mail.ru

**К.Е. Кулишова**, ksusha-\_\_@list.ru

*ВНИИПД – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН  
191014, Россия, Санкт-Петербург, Литейный пр., 55*

*Университет ИТМО  
190002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

Изучена стабильность бета-каротина в наноконплексах с циклодекстринами и модифицированными крахмалами. В качестве носителей-модификаторов были исследованы альфа- и бета-циклодекстрины, нативный и модифицированные крахмалы со степенью гидролиза от 30 до 46%. Комплексы включения получали твердофазным способом. Стабильность бета-каротина определяли в условиях хранения образцов при температурах  $(3 \pm 2)$  и  $(-23 \pm 2)^\circ\text{C}$ , а водных растворов образцов при температуре  $(3 \pm 2)^\circ\text{C}$ . Интенсивность цвета растворов образцов определяли по оптической плотности, измеряемой в максимуме светопоглощения на двухлучевом сканирующем спектрофотометре Shimadzu UV-1800 со спектральным диапазоном 190–1100 нм и программой обработки данных. При температуре  $(-23 \pm 2)^\circ\text{C}$  содержание красящих веществ в образце бета-каротина и в образцах конплексов, полученных на основе всех носителей, стабильно в течение 4 мес. наблюдения. В условиях хранения образцов при температуре  $(3 \pm 2)^\circ\text{C}$  наибольшее стабилизирующее действие на бета-каротин оказывают модифицированные крахмалы и циклодекстрины с молярным соотношением 1:1. Стабильность красящих веществ в водных растворах конплексов, полученных на основе бета-каротина и бета-циклодекстрина почти в 30 раз превышает стабильность водного раствора эмульсии бета-каротина. Лучшие результаты получены для конплексов с молярным соотношением бета-циклодекстрин : бета-каротин в диапазоне от 1:1 до 2,5:1. Стабилизирующее действие альфа-циклодекстрина менее выражено. Потери 50% красящих веществ в этом случае отмечаются при хранении от 40 до 70 суток в зависимости от молярного соотношения конплексов. Растворы конплексов на основе альфа-циклодекстрина имеют менее интенсивную окраску. В них содержится в 3 раза меньше бета-каротина, чем в конплексах на основе бета-циклодекстрина. Большую лабильность и более низкое содержание бета-каротина в образцах, полученных на основе альфа-циклодекстрина, можно объяснить меньшим размером его внутренней полости, в результате чего меньшее число молекул бета-каротина включается в структуру супрамолекулы. Образование супрамолекулярных структур подтверждено методом ЯМР  $^1\text{H}$  спектроскопии. Супрамолекулярные конплексы на основе бета-каротина могут найти широкое применение в различных областях науки и промышленности.

**Ключевые слова:** пищевые красители; бета-каротин; альфа-циклодекстрин; бета-циклодекстрин; модифицированный крахмал; супрамолекулярная химия, наноконплексы.

DOI: 10.17586/2310-1164-2018-11-4-15-21

---

## Stabilization of coloring substances in the composition of inclusive nanocomplexes based on starch products

Ph.D. **Natalia V. Rudometova**, natrudjob@mail.ru

**Kseniia E. Kulishova**, ksusha-\_\_@list.ru

*All-Russian Research Institute for Food Additives – Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS  
55, Liteyniy ave., St. Petersburg, 191014, Russia*

*ITMO University  
49, Kronverkskiy ave., St. Petersburg, 197101, Russia*

The stability of beta-carotene in nanocomplexes with cyclodextrins and modified starches has been studied. Alpha- and beta-cyclodextrins, native, and modified starches with a degree of hydrolysis from 30 % to 46 % were studied as modifier carriers. The inclusion complexes were obtained by the solid phase method. The stability of beta-carotene was determined under conditions of sample storage at the temperatures of  $(3 \pm 2)$  and  $(-23 \pm 2)^\circ\text{C}$ , and aqueous solutions of samples at the temperature of  $(3 \pm 2)^\circ\text{C}$ . The color intensity of the sample solutions was determined by the optical density measured at the maximum of the light absorption on Shimadzu UV-1800 two-beam scanning spectrophotometer with the spectral range of 190-1100 nm supported by data processing program. At the temperature of  $(-23 \pm 2)^\circ\text{C}$

the content of the coloring matter in the beta-carotene sample and in the samples of the complexes obtained on the basis of all carriers is stable for 4 months of observation. Under conditions of storage of samples at the temperature of  $(3 \pm 2)^\circ\text{C}$  modified starches and cyclodextrins with a 1:1 molar ratio have the greatest stabilizing effect on beta-carotene. The stability of the coloring substance in aqueous solutions of complexes derived from beta-carotene and beta-cyclodextrin is almost thirty times greater than the stability of an aqueous solution of beta-carotene emulsion. Best results are obtained for complexes with the molar ratio of beta-cyclodextrin to beta-carotene in the range from 1:1 to 2.5:1. The stabilizing effect of alpha-cyclodextrin is weaker. Losses of 50% of the coloring substance in this case are observed during storage for 40 to 70 days, depending on the molar ratio of the components in the complex. Solutions of alpha-cyclodextrin-based complexes are less intensely colored. They contain 3 times less beta-carotene than in complexes based on beta-cyclodextrin. The greater lability and lower beta-carotene content in samples derived from alpha-cyclodextrin can be explained by the smaller size of its internal cavity, then, fewer beta-carotene molecules are incorporated into the structure of the supramolecule. The formation of supramolecular structures was confirmed by  $^1\text{H}$  NMR spectroscopy. Supramolecular complexes based on beta-carotene can be widely used in various fields of science and industry.

**Keywords:** food dye; beta-carotene; alpha-cyclodextrin; beta-cyclodextrin; modified starch; supramolecular chemistry; nanocomplex.

## Введение

Широкое применение красителей в пищевой промышленности предполагает их использование не только в виде пищевых добавок с нормируемым содержанием красящего вещества, но и в виде комплексных пищевых добавок с функцией красителя. Комплексные пищевые добавки производятся в виде сухих смесей, паст, растворов и эмульсий. Поэтому в их составе присутствуют различные носители, растворители, эмульгаторы и другие ингредиенты. В соответствии с требованиями Технического регламента Таможенного союза 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств», качестве носителей красящих веществ применяются производные целлюлозы, камеди, модифицированные крахмалы, мальтодекстрин, бета-циклодекстрин и другие ингредиенты. Лабильные красители требуют дополнительного введения стабилизаторов.

Альтернативным способом стабилизации красителей является микро- и нанокапсулирование, а также образование супрамолекулярных структур. К ним относятся и наноконплексы, образующиеся при включении молекулы вещества-«гостя» в полость молекулы-«хозяина» [1, 2]. В 1954 году Ф. Крамером было впервые показано, что циклодекстрины (ЦД) могут образовывать молекулярные комплексы включения такого типа. Их образование осуществляется только за счет взаимодействий нековалентной природы, что позволяет отнести эти комплексы к объектам супрамолекулярной химии [3]. Важным фактором комплексообразования является соответствие размеров полости ЦД и молекул «гостей» [4, 5]. Было показано, что образование супрамолекулярных структур изменяет физико-химические свойства молекул включения (растворимость, стабильность, светостойкость) [6, 7]. Этим и определяются основные направления практического использования ЦД как солубилизирующих и стабилизирующих агентов в различных отраслях промышленности (фармацевтической, косметической, пищевой). Избирательность взаимодействия ЦД с «гостями» обуславливает также их применение в аналитической хроматографии и капиллярном электрофорезе [3, 8, 9].

Крахмал и его модификации также широко применяются в ряде отраслей пищевой промышленности, в том числе в производстве комплексных пищевых добавок. Ферментативно модифицированный пористый крахмал обладает повышенной адсорбционной способностью и может найти применение в качестве носителя красящих веществ [10].

Использование природных пищевых красителей, например, бета-каротина E160a ( $\beta$ -каротина), обладающего не только красящим эффектом, но и биологической активностью, в производстве пищевой продукции массового спроса в последние годы неуклонно растет. Однако его применение вследствие высокой лабильности и нерастворимости в водных средах ограничено [11, 12].

Ранее нами было показано, что светостойкость  $\beta$ -каротина в образцах комплексов на основе альфа-циклодекстрина ( $\alpha$ -ЦД) и бета-циклодекстрина ( $\beta$ -ЦД) в семь раз превышает светостойкость красителя. Этот эффект можно объяснить образованием новой супрамолекулярной структуры [13].

Нативный и модифицированные пористые крахмалы не оказывают значительного влияния на светостойкость  $\beta$ -каротина. В данной работе продолжено исследование влияния ЦД, нативного и модифицированных крахмалов на стабильность  $\beta$ -каротина.

### Объекты и методы исследования

В работе использовали  $\beta$ -каротин E160a (i) кристаллический, производства КНР и эмульсию  $\beta$ -каротина в воде производства ООО «ОНА». Содержание красящих веществ составляло от 30 до 100%.

В качестве носителей-модификаторов использовали  $\alpha$ -ЦД и  $\beta$ -ЦД производства фирмы Roquette (Франция), кукурузный крахмал и экспериментальные образцы модифицированного кукурузного крахмала, полученные путем ферментативного гидролиза с использованием глюкоамилазы, и предоставленные «ВНИИ крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ ФНЦ пищевых технологий им. В.М. Горбатова» РАН [10].

Комплексы включения получали твердофазным способом (растиранием смеси носителя с красителем в течение 3 ч при периодическом увлажнении дистиллированной водой до состояния пасты) при эквимольных соотношениях «хозяин : гость» в диапазоне 1:5 : 1 [14].

Стабильность  $\beta$ -каротина определяли в условиях хранения образцов при температурах  $(3 \pm 2)$  и  $(-23 \pm 2)^\circ\text{C}$ , а водных растворов образцов при температуре  $(3 \pm 2)^\circ\text{C}$ .

Интенсивность цвета растворов образцов определяли по оптической плотности, измеряемой в максимуме светопоглощения на дуолучевом сканирующем спектрофотометре Shimadzu UV-1800 со спектральным диапазоном 190–1100 нм и программой обработки данных.

Водные растворы образцов комплексов включения с гидромодулем 1:1000 получали при перемешивании в течение 60 мин при температуре  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  и частоте вращения ротора 130 об/мин на перемешивающем устройстве УВМТ-12-250, после чего фильтровали [15].

Содержание красящих веществ в образцах, не растворимых в воде, определяли по методике [16] в хлороформе и циклогексане при характеристических длинах волн 464 и 455 нм, соответственно.

Спектры ЯМР  $^1\text{H}$  регистрировали на спектрометре Bruker AVANCE III HD с рабочей частотой 400 МГц в лаборатории СПбГТИ (ТУ). Обработку спектров осуществляли с помощью программ TopSpin 4 и SpinWorks 4.

### Результаты исследований

Определено влияние температуры на стабильность  $\beta$ -каротина при хранении образцов комплексов. Установлено, что при температуре  $(-23 \pm 2)^\circ\text{C}$  содержание красящих веществ в образце  $\beta$ -каротина и в образцах комплексов, полученных на основе  $\beta$ -каротина,  $\alpha$ -ЦД,  $\beta$ -ЦД и крахмалов как нативного, так и модифицированных стабильно в течение 4 месяцев наблюдения. Исследование стабильности  $\beta$ -каротина в условиях хранения образцов при температуре  $(3 \pm 2)^\circ\text{C}$  показало (таблица), что наиболее стабильны образцы, полученные на основе модифицированных крахмалов и  $\alpha$ -ЦД,  $\beta$ -ЦД с молярным соотношением 1:1.

Было также отмечено, что в образцах, для получения которых использовался  $\beta$ -ЦД и кристаллический  $\beta$ -каротин с содержанием основного красящего вещества менее 80%, деградация красителя наступает быстрее по сравнению с образцами, для получения которых использовался кристаллический  $\beta$ -каротин с содержанием основного красящего вещества не менее 98%. Это связано, по-видимому, с уже начавшимися процессами окисления  $\beta$ -каротина, явившимися причиной снижения его содержания в исходном красителе и, соответственно, в образцах комплексов.

Исследование растворимости образцов, полученных на основе  $\beta$ -каротина и крахмала с различной степенью гидролиза, показало, что полученные образцы не растворяются в воде [14, 16], поэтому влияние крахмалов на стабильность  $\beta$ -каротина определяли при хранении только сухих образцов.

Таблица – Стабильность β-каротина в условиях хранения образцов при температуре (3 ± 2)°C  
 Table – Stability of β-carotene under conditions of sample storage at the temperatures of (3 ± 2)°C

Носитель	Молярное (массовое) соотношение носитель : β-каротин	Продолжительность хранения температуре (3 ± 2)°C, сут		
		30	90	120
		Содержание красящих веществ, %		
β-ЦД	1:1	100	90	80
	1,5:1	80	40	30
	5:1	90	50	40
α-ЦД	1:1	100	100	100
	2,5:1	100	100	90
	5:1	90	80	60
Кукурузный крахмал	2:1	100	100	100
	4:1	80	70	60
Модифицированный кукурузный крахмал, SGK 30 %	2:1	100	100	100
	4:1	100	90	90
Модифицированный кукурузный крахмал, SGK 39 %	2:1	100	90	90
	4:1	90	80	80
Модифицированный кукурузный крахмал, SGK 46 %	2:1	100	90	90
	4:1	100	90	90
β-каротин, 100 %		100	90	90

На рисунках 1 и 2 приведены результаты исследования влияния продолжительности хранения растворов образцов комплексов при температуре (3 ± 2)°C на стабильность красителя. Потеря 50% красящих веществ зафиксированы у β-каротина в эмульсионной форме уже на 3 сутки хранения. Стабильность красящих веществ в водных растворах комплексов, полученных на основе β-каротина и β-ЦД (рисунок 1) почти в 30 раз превышает стабильность водного раствора эмульсии β-каротина.

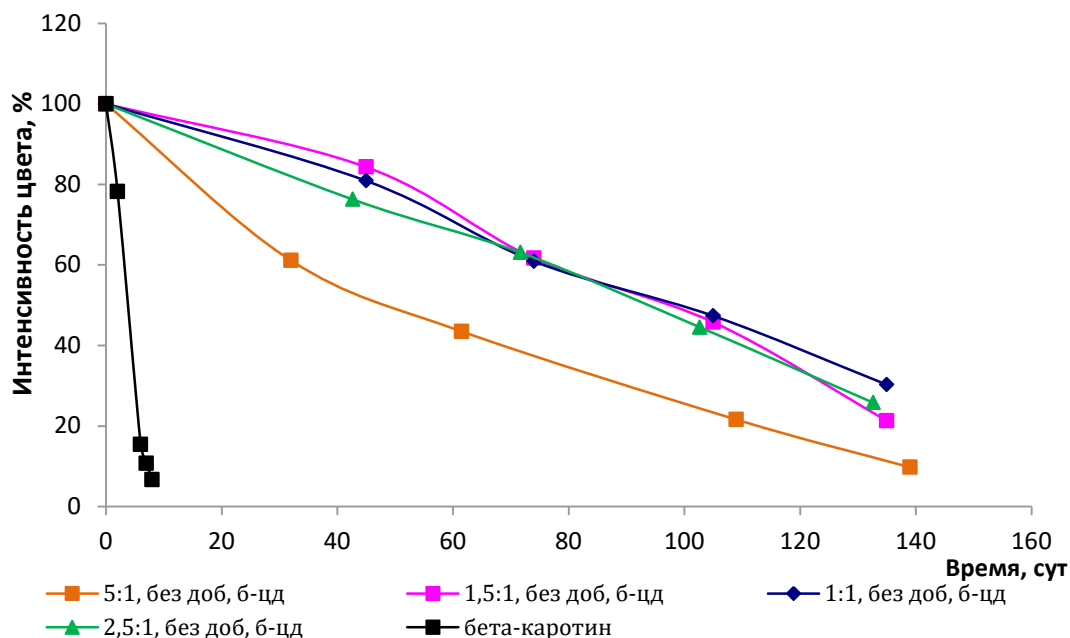


Рисунок 1 – Влияние длительности хранения при температуре (3 ± 2)°C на содержание красящих веществ в растворах комплексов β-каротина с β-ЦД, полученных при молярных соотношениях β-ЦД : β-каротин 1:1; 1,5:1; 2,5:1 и 5:1

Fig. 1 – The influence of storage time at the temperature of (3 ± 2)°C on dye substance content in β-carotene-β-cyclodextrin complex solutions obtained at the following molar ratio of β-cyclodextrin to β-carotene 1:1; 1,5:1; 2,5:1 and 5:1

Растворы образцов комплексов на основе  $\beta$ -ЦД сохраняют 50% красящих веществ при хранении в течение от 50 до 90 суток в зависимости от молярного соотношения компонентов в комплексе. Лучшие результаты получены для комплексов с молярным соотношением  $\beta$ -ЦД :  $\beta$ -каротин в диапазоне от 1:1 до 2,5:1. Влияние молярного соотношения компонентов на стабильность красителя нивелируется при хранении растворов в течение 140 суток.

Стабилизирующее действие  $\alpha$ -ЦД менее выражено. Потери 50% красящих веществ в этом случае отмечаются при хранении в течение от 40 до 70 суток, в зависимости от молярного соотношения компонентов в комплексе (рисунок 2).

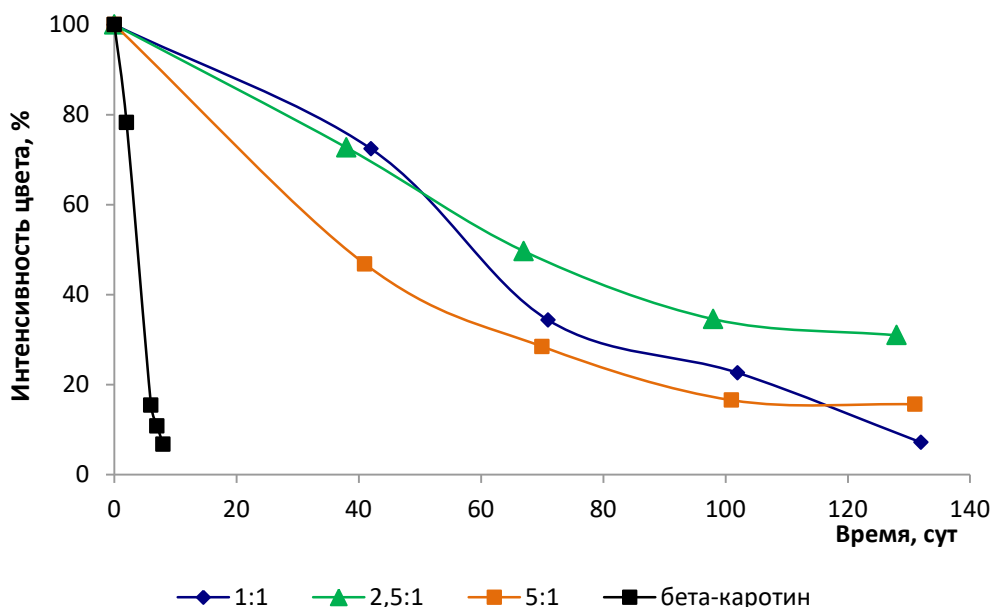


Рисунок 2 – Влияние длительности хранения при температуре  $(3 \pm 2)^\circ\text{C}$  на содержание красящих веществ в растворах комплексов  $\beta$ -каротина с  $\alpha$ -ЦД, полученных при молярных соотношениях  $\beta$ -ЦД :  $\beta$ -каротин 1:1; 1,5:1 и 5:1

Fig. 2 – The influence of storage time at the temperature of  $(3 \pm 2)^\circ\text{C}$  on dye substance content in  $\beta$ -carotene- $\alpha$ -cyclodextrin complex solutions obtained at the following molar ratio of  $\beta$ -cyclodextrin to  $\beta$ -carotene 1:1; 1,5:1 and 5:1

Влияние молярного соотношения  $\alpha$ -ЦД :  $\beta$ -каротин аналогично влиянию соотношения  $\beta$ -ЦД :  $\beta$ -каротин, но менее значительно. Кроме того, растворы комплексов на основе  $\alpha$ -ЦД имеют менее интенсивную окраску. В них содержится в 3 раза меньше  $\beta$ -каротина, чем в комплексах на основе  $\beta$ -ЦД. Большую лабильность и более низкое содержание  $\beta$ -каротина в образцах, полученных на основе  $\alpha$ -ЦД можно объяснить меньшим размером его внутренней полости и, соответственно, большими стерическими затруднениями при получении комплексов, в результате чего меньшее число молекул  $\beta$ -каротина включается в структуру супрамолекулы [14].

Предположение о том, что изменения физико-химических свойств  $\beta$ -каротина в составе полученных комплексов вызваны образованием супрамолекулярной структуры было подтверждено исследованием ЯМР  $^1\text{H}$  спектров.

### Выводы

Исследования в области супрамолекулярной химии применительно к пищевым добавкам – красителям малочисленны и не имеют системного характера. Впервые проведено изучение стабильности  $\beta$ -каротина в образцах комплексов, полученных на основе  $\alpha$ -ЦД,  $\beta$ -ЦД, нативного и модифицированных крахмалов. Установлено, что при условии содержания основного красящего вещества в красителе не менее 98 %,  $\beta$ -каротин в образцах комплексов, полученных на основе модифицированных крахмалов,  $\alpha$ -ЦД и  $\beta$ -ЦД, стабилен в условиях хранения при  $(-23 \pm 2)$  и  $(3 \pm 2)^\circ\text{C}$  в течение 4 мес.

Стабильность красящих веществ в водных растворах комплексов почти в 30 раз превышает стабильность водного раствора эмульсии β-каротина. Стабилизирующее действие α-ЦД менее выражено чем влияние β-ЦД.

Исследования ЯМР <sup>1</sup>H спектров подтвердили, что изменения физико-химических свойств β-каротина в составе полученных комплексов вызваны образованием супрамолекулярной структуры.

Внедрение инновационных наноконплексов в пищевые производства обеспечит импортозамещение и увеличение выпуска пищевой продукции с использованием отечественных комплексных пищевых добавок. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку супрамолекулярных наноконплексов на основе продуктов переработки крахмала и вкусоароматических веществ.

### Литература

1. Шпилов Д.А., Курочкина Г.И., Сергиевич А.А., Грачева М.К. Синтез наноразмерных монокатионных производных β-циклодекстрина, содержащих остатки фармакологически важных кислот // Макрогетероциклы. 2017. № 2. С. 238–242.
2. Mangolim C.S., Moriwaki C., Nogueira A.C., Sato F., Baesso M.L., Neto A.M., Matioli G. Curcumin–β-cyclodextrin inclusion complex: Stability, solubility, characterization by FT-IR, FT-Raman, X-ray diffraction and photoacousticspectroscopy, and food application. *Food Chemistry*. 2014, no. 153, pp. 361–370.
3. Jin Z.-Y. *Cyclodextrin Chemistry: Preparation and Application*. Singapore: World Scientific Publishing, 2013. 290 p.
4. Черных Е.В., Бричкин С.Б. Супрамолекулярные комплексы на основе циклодекстринов // Химия высоких энергий. 2010. Т. 44. № 2. С. 115–133.
5. Терехова И.В. Комплексообразование циклодекстринов с флавионами в водном растворе // Журнал физической химии. 2014. Т. 88. № 1. С. 54–61.
6. Рудометова Н.В., Никифорова Т.А. Получение супрамолекулярных комплексов индигокармина с бета-циклодекстрином // Хранение и переработка сельхозсырья. 2016. № 3. С. 13–16.
7. Рудометова Н.В. Получение супрамолекулярных комплексов на основе циклодекстринов для создания новых пищевых ингредиентов с высокой стабильностью // Материалы VII Междунар. научно-технич. конф. «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке». 2015. С. 291–293.
8. Терехова И. В., Кумеев Р. С., Альпер Г. А., Агафонов А. В. Термодинамические характеристики реакций образования комплексов α- и β-циклодекстринов с люмихромом, люмазином и урацилом в водном растворе // Журнал физической химии. 2011. Т. 85. № 10. С. 1977–1982.
9. Яковичин Л.А., Гришкова В.И., Коржа Е.Н., Ветрова Е.В., Борисенко Н.И. Физико-химическая характеристика и биологическая активность супрамолекулярного комплекса глицирама с β-циклодекстрином // Макрогетероциклы. 2015. № 1. С. 94–98.
10. Папахин А.А., Бородина З.М., Лукин Н.Д., Гулакова В.А., Маннова И.Г., Бердышникова О.Н. Влияние степени гидролиза на свойства кукурузного крахмала в процессе низкотемпературной биоконверсии // Хранение и переработка сельхозсырья. 2014. № 12. С. 38–41.
11. Хелдт Г.В. Биохимия растений. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2011. 471 с.
12. Commission Regulation (EU) № 231/2012 of 9 March 2012 laying down specification for food additives listed in Annexes II and III to Regulation (EC) № 1333/2008 of the European Parliament and of the Council. *Official Journal of the European Union*. L 83/1. pp. 1–295.
13. Рудометова Н.В., Кулишова К.Е., Ким И.С. Исследование влияния циклодекстринов и модифицированных крахмалов на светостойкость бета-каротина в инклюзионных комплексах // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2018. № 3 С. 3–11.
14. Рудометова Н.В., Кулишова К.Е., Ким И.С. Супрамолекулярные наноконплексы пищевых красителей с бета-циклодекстрином // Материалы XVII Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в пищевой промышленности» (Минск, 4–5 октября 2018 г.). Минск, 2018. С. 45–47.
15. Кулишова К.Е., Рудометова Н.В. Исследование физико-химических свойств комплексов на основе бета-каротина // Интенсификация пищевых производств: от идеи к практике: сб. науч. тр. Красково, 2018. С. 178–182.
16. Combined Compendium of Food Additive Specifications FAO JECFA. *Food and Agriculture Organization of the United Nations* URL: [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/jecfa\\_additives/docs/monograph11/additive-113-m11.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/jecfa_additives/docs/monograph11/additive-113-m11.pdf) (Accessed 21.09.2018).

### References

1. Shipilov D. A., Kurochkina G. I., Sergievich A. A., Gracheva M. K. Sintez nanorazmernykh monokationnykh proizvodnykh β-ciklodekstrina, sodержashchih ostatki farmakologicheskii vazhnykh kislot [Synthesis of nanosized monocationic β-cyclodextrin conjugates containing residues of pharmacologically important acids]. *Macroheterocycles*. 2017, no. 2, pp. 238–242.

2. Mangolim C.S., Moriwaki C., Nogueira A.C., Sato F., Baesso M.L., Neto A.M., Matioli G. Curcumin- $\beta$ -cyclodextrin inclusion complex: Stability, solubility, characterization by FT-IR, FT-Raman, X-ray diffraction and photoacousticspectroscopy, and food application. *Food Chemistry*. 2014, no. 153, pp. 361–370.
3. Jin Z.-Y. *Cyclodextrin Chemistry: Preparation and Application*. Singapore: World Scientific Publishing, 2013. 290 p.
4. Chernyh E.V., Brichkin S.B. Supramolekulyarnye komplekсы na osnove ciklodekstrinov [Supramolecular complexes based on cyclodextrins]. *High Energy Chemistry*. 2010, V. 44, no. 2, pp. 115–133.
5. Terekhova I.V. Kompleksoobrazovanie ciklodekstrinov s flavinami v vodnom rastvore [Complexation of cyclodextrins with flavines in aqueous solutions]. *Russian Journal of Physical Chemistry*. 2014, V. 88, no. 1, pp. 54–61.
6. Rudometova N.V., Nikiforova T.A. Poluchenie supramolekulyarnykh kompleksov indigokarmina s beta-tsiklodekstrinom [Preparation of supramolecular indigo carmine complexes with beta-cyclodextrin]. *Storage and processing of farm products*. 2016, no. 3, pp. 13–16.
7. Rudometova N.V. Poluchenie supramolekulyarnykh kompleksov na osnove tsiklodekstrinov dlya sozdaniya novykh pishchevykh ingredientov s vysokoi stabil'nost'yu [Preparation of supramolecular cyclodextrin complexes for create new food ingredients with high stability]. *Proceedings of VII International conference "Refrigeration and Food Technologies in the 21st Century"* (St. Petersburg, 17–20 November 20015). St. Petersburg, ITMO University Publ., 2015, pp. 291–293.
8. Terekhova I.V., Kumeev R.S., Al'per G.A., Agafonov A.V. Termodinamicheskie harakteristiki reakcij obrazovaniya kompleksov  $\alpha$ - i  $\beta$ -ciklodekstrinov s lyumihromom, lyumazinom i uracilom v vodnom rastvore [Thermodynamic characteristics of the formation of  $\alpha$ - And  $\beta$ -cyclodextrin complexes with lumichrome, lumazine, and uracil in aqueous solution]. *Russian Journal of Physical Chemistry*. 2011, V. 85, no. 10, pp. 1977–1982.
9. Yakovishin L.A., Grishkovec V.I., Korzha E.N., Vetrova E.V., Borisenko N.I. Fiziko-himicheskaya harakteristika i biologicheskaya aktivnost' supramolekulyarnogo kompleksa glicirama s  $\beta$ -ciklodekstrinom [The molecular complex of monoammonium glycyrrhizinate (glycyram) with  $\beta$ -cyclodextrin]. *Macroheterocycles*. 2015, no. 1, pp. 94–98.
10. Papakhin, A.A., Borodina Z.M., Lukin N.D., Gulakova V.A., Mannova I.G., Berdyschnikova O.N. Vliyanie stepeni gidroliza na svoystva kukuruznogo krakhmala v protsesse nizkotemperaturnoi biokonversii [Influence of the Degree of Hydrolysis Corn Starch on the Properties of Low Temperature During Bio-Conversion]. *Storage and processing of farm products*. 2014, no. 12, pp. 38–41.
11. Kheldt G.V. *Biokhimiya rastenii* [Phytochemistry]. Moscow, BINOM. Laboratory of knowledge Publ., 2011, 471 p.
12. Commission Regulation (EU) № 231/2012 of 9 March 2012 laying down specification for food additives listed in Annexes II and III to Regulation (EC) № 1333/2008 of the European Parliament and of the Council. *Official Journal of the European Union*. L 83/1. pp. 1–295.
13. Rudometova N.V., Kulishova K.E., Kim I.S. Issledovanie vliyaniya tsiklodekstrinov i modifitsirovannykh krakhmalov na svetostoikost' beta-karotina v inklyuzionnykh kompleksakh [The influence of cyclodextrin and modified starches on the beta-carotene lightfastness in inclusion complexes]. *Processed and Food Production Equipment*. 2018, no. 3, pp. 3–11.
14. Rudometova N.V., Kulishova K.E., Kim I.S. Supramolekulyarnye nanokomplekсы pishchevykh krasitelei s beta-tsiklodekstrinom [Supramolecular nanocomplexes of food dyes with beta-cyclodextrin]. *Proceedings of the 17 International Scientific and Practical Conference "Innovative Technologies in the Food Industry"*(Minsk, 4–5 October 2018). Minsk, 2018, pp. 45–47.
15. Kulishova K.E., Rudometova N.V. Issledovanie fiziko-khimicheskikh svoystv kompleksov na osnove beta-karotina [Investigation of the physicochemical properties of beta-carotene-based complexes]. *Intensification of food production: from idea to practice. Collection of works*. Kraskovo, 2018. pp. 178–182.
16. Combined Compendium of Food Additive Specifications FAO JECFA. *Food and Agriculture Organization of the United Nations* URL: [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/jecfa\\_additives/docs/monograph11/additive-113-m11.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/jecfa_additives/docs/monograph11/additive-113-m11.pdf) (Accessed 21.09.2018).

Статья поступила в редакцию 12.11.2018