

THERMOCHEMICAL PROPERTIES OF SILVER NANOPARTICLE COMPOSITIONS FUNCTIONALIZED BY CYTISINE BETA-OLIGOSACCHARIDE CLATHRATE

S.D. Fazylov^{1*}, O.A. Nurkenov^{1,2}, A.Zh. Sarsenbekova³, R.Ye. Bakirova⁴, A.B. Tateeva³,
A.K. Syzdykov^{1,2}, A.K. Sviderskiy⁵, A.Zh. Mendibayeva^{1,2}

¹Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry, Karaganda, Kazakhstan

²Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

³Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan

⁴Karaganda Medical University, Karaganda, Kazakhstan

⁵Zhezkazgan University named after Omir Khan Baikonurov, Zhezkazgan, Kazakhstan

*E-mail: iosu8990@mail.ru

Abstract. *Introduction.* The article discusses the thermochemical properties of the composition of silver nanoparticles functionalized by the β -oligosaccharide clathrate complex of cytosine and its O,O-dimethylphosphate derivatives. *Methodology.* Thermogravimetric and differential thermogravimetric analyses were used to obtain data on the kinetics of thermal decomposition of the studied substrates, as well as their encapsulated complexes of inclusions modified with silver nanoparticles. *Results and Discussion.* Studies have been carried out on a scanning electron microscope aimed at analyzing the evolution of their structure under the influence of various temperature conditions. Energy profiles of the processes of destruction of clathrate molecules have been obtained. It is shown that the process of destruction of clathrate molecules begins in reactions with higher activation energy values and continues with a uniform decrease in E_a along the reaction path, which indicates a multi-stage process. The research results made it possible to identify the corresponding phase transformations of nanocompositions, as well as possible recrystallization processes and other changes occurring in the inclusion complexes as a result of annealing. *Conclusion.* The kinetic data obtained contribute to predicting the properties of the obtained compositions of silver nanoparticles functionalized by the β -oligosaccharide clathrate complex of cytosine and its phosphorous derivative under long-term storage conditions and searching for optimal ways to stabilize them.

Keywords: silver nanoparticles, cytosine, β -oligosaccharide, inclusion complex, thermal decomposition.

Fazylov Serik Drakhmetovich	Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Chemical Sciences, Professor, e-mail: iosu8990@mail.ru
Nurkenov Oralgazy Aktayevich	Doctor of chemical sciences, Professor, e-mail: nurkenov_oral@mail.ru
Sarsenbekova Akmaral Zhakanovna	Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, e-mail: chem_akmaral@mail.ru

Citation: Fazylov S.D., Nurkenov O.A., Sarsenbekova A.Zh., Bakirova R.Ye., Tateeva A.B., Syzdykov A.K., Sviderskiy A.K., Mendibayeva A.Zh. Thermochemical properties of silver nanoparticle compositions functionalized by cytosine beta-oligosaccharide clathrate. *Chem. J. Kaz.*, 2025, 2(90), 92-102. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2025-2.2710-1185.25>

Bakirova Ryszhan Emelevna	Doctor of Medical sciences, Professor, e-mail: bakir15@mail.ru
Tateeva Alma Baimagambetovna	Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, e-mail: almatateeva@mail.ru
Syzdykov Ardak Kanagatovich	PhD student, Junior researcher, e-mail: ardak.syzdykov.96@inbox.ru
Svidersky Aleksandr Konstantinovich	Doctor of chemical sciences, Professor, e-mail: katsostud@mail.ru
Mendibayeva Anel Zhanatovna	PhD student, Junior researcher, e-mail: anenyawa@mail.ru

ТЕРМОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИЙ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА, ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫЕ БЕТА-ОЛИГОСАХАРИДНЫМ КЛАТРАТОМ ЦИТИЗИНА

С.Д. Фазылов^{1}, О.А. Нуркенов^{1,2}, А.Ж. Сарсенбекова³, Р.Е. Бакирова⁴, А.Б. Татеева³, А.К. Сыздыков^{1,2}, А.К. Сви́дерский⁵, А.Ж. Мендибаева^{1,2}*

¹Институт органического синтеза и углехимии РК, Караганда, Казахстан

²Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Караганда

³Карагандинский университет им. Е.А. Букетова

⁴Карагандинский медицинский университет

⁵Жезказганский университет имени О. А. Байконурова, Жезказган, Казахстан

*E-mail: iosu8990@mail.ru

Резюме. *Введение.* В статье рассматриваются термодинамические свойства композиции наночастиц серебра, функционализированные β-олигосахаридным клатратным комплексом цитизина и его О,О-диметилфосфатным производным. *Методология.* Методами термогравиметрического и дифференциального термогравиметрического анализов получены данные кинетики термического разложения изучаемых субстратов, а также их инкапсулированных комплексов включений, модифицированные наночастицами серебра. *Результаты и обсуждение.* На сканирующем электронном микроскопе проведены исследования, направленные на анализ эволюции их структуры под воздействием различных температурных режимов. Получены энергетические профили процессов разрушения молекул клатратов. Показано, что процесс разрушения молекул клатратов начинается в реакциях с более высокими значениями энергии активации и продолжается с равномерным уменьшением E_a вдоль пути реакции, что свидетельствует о многостадийности процесса. Результаты исследований позволили выявить соответствующие фазовые превращения наноконпозиций, а также возможные процессы рекристаллизации и прочие изменения, происходящие в комплексах включения в результате отжига. *Заключение.* Полученные кинетические данные способствуют прогнозированию свойств полученных композиций наночастиц серебра, функционализированные β-олигосахаридным клатратным комплексом цитизина и его фосфорпроизводного в условиях длительного хранения и поиску оптимальных путей их стабилизации.

Ключевые слова: наночастицы серебра, цитизин, β-олигосахарид, комплекс включения, термическое разложение.

Фазылов Серик Драгметович	Академик НАН РК, доктор химических наук, профессор
Нуркенов Оралгазы Актаевич	Доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией
Сарсенбекова Акмарал Жақановна	Кандидат химических наук, ассоциированный профессор
Бакирова Рысжан Емельевна	доктор медицинских наук, профессор

<i>Татеева Алма Баймаганбетовна</i>	<i>Кандидат химических наук, ассоц.профессор</i>
<i>Сыздыков Ардак Канатович</i>	<i>PhD студент, младший научный сотрудник</i>
<i>Свидерский Александр Константинович</i>	<i>Доктор химических наук, профессор</i>
<i>Мендибаева Анель Жанатовна</i>	<i>PhD студент, младший научный сотрудник</i>

1. Введение

Развитие нанотехнологий позволило получать наноматериалы с уникальными свойствами в области биомедицины благодаря их интересным биологическим свойствам [1]. Среди них большой интерес представляют наночастицы серебра (AgNP) и материалы, в которых они используются, в основном из-за их необычных физических и биоактивных свойств [2]. Серебро - хорошо известное противомикробное средство, оно эффективно против бактерий, вирусов, грибов и дрожжей, в том числе ряда штаммов, устойчивых к антибиотикам. Биохимические свойства наночастиц серебра связаны с рядом параметров, включая размер, форму и стабильность, которые в основном зависят от методики и условий их получения [3]. Эти свойства значительно улучшаются при использовании наночастиц серебра благодаря резкому увеличению площади поверхности. Многообещающим синтоном при поиске и создании новых противовирусных препаратов является известный алкалоид цитизин (Cz), содержащийся в семенах растений *Cytisus laborinum* L. и *Thermopsis lanceolata*, относящихся к семейству бобовых (*Fabaceae*, *Leguminosae*). Цитизин обладает «ганглиозным» действием и, благодаря стимулирующему воздействию на дыхание, считается дыхательным analeптиком [4].

Циклодекстрины (α -, β - и γ -CD) - это природные циклические олигосахариды, образующиеся в результате расщепления натурального крахмала [5]. β -ЦД играет важную роль в предотвращении агрегации наночастиц, тем самым способствуя их стабильности в растворе. Например, они успешно использовались для получения наночастиц серебра и золота благодаря хорошей растворимости в воде [6].

В предыдущем исследовании нами были описаны получение и особенности инкапсуляции цитизина и его фосфорпроизводного с β -CD комплексом наночастиц серебра [7]. Это исследование демонстрирует термохимические характеристики комплекса включения цитизина и его О,О-диалкилфосфатного производного (CzP) в качестве органических лигандов в наноконпозиции β -CD-AgNP. Конпозицию β -CD-Cz, модифицированную AgNP, можно считать многообещающей платформой для улучшения стабильности и расширения их потенциала в биомедицинском применении.

2. Экспериментальная часть

В работе использовались следующие реагенты: цитизин основание, белые кристаллы, $C_{11}H_{14}N_2O$, 190,24 г/моль, т.пл. 152-153°C, (Олдрич); β -CD (99%) («Fluka» т.пл. 270-290°C). Нитрат серебра были приобретены у компании Sinopharm Chemical Reagent. О,О-диметил-N-цитизиниламидо-фосфат (CzP) получен по методике [7]. Эксперименты по термогравиметрическому анализу новых соединений выполнены на дифференциальном сканирующем калориметре фирмы Netzsch Jupiter STA 449 F3, 2013 г., страна Германия. Инфракрасный спектр был измерен на ИК-анализаторе Bruker FTIR Alpha, страна Германия, год выпуска 2017 г.

3. Результаты и обсуждение

Термогравиметрический анализ (TG) (Cz, CzP, Cz(CzP)- β -CD и Cz(CzP)- β -CD-AgNP. Анализ TG композиции наночастиц серебра, функционализированные β -циклодекстриновым комплексом цитизина и его О,О-диметилфосфатным производным на представленных термограммах указывает на интенсивный процесс термического разложения исследуемых объектов (рис.1).

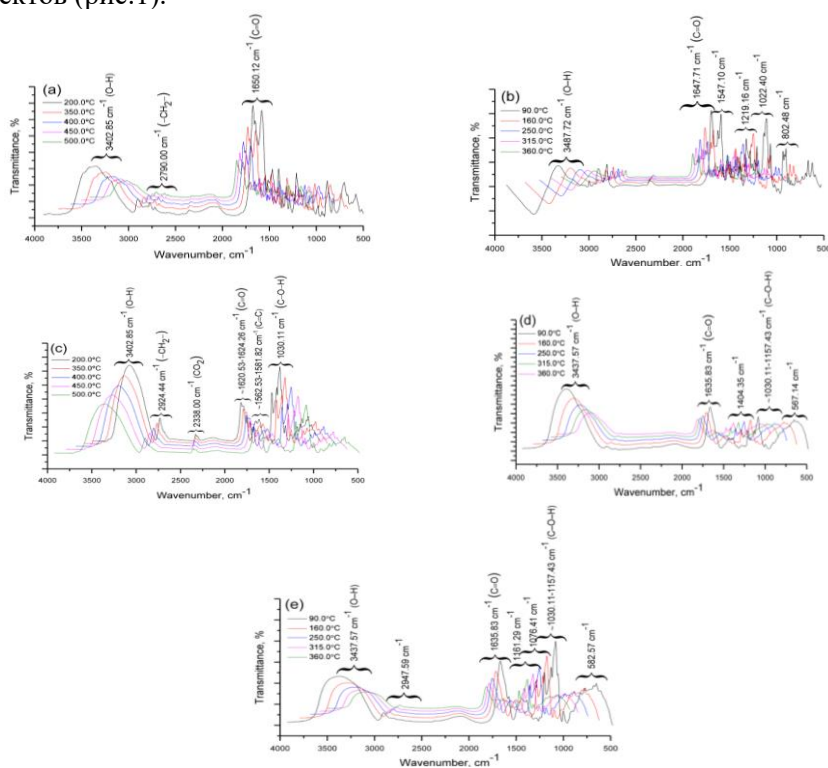


Рисунок 1 - Результаты ИК-спектроскопического анализа продуктов деградации Cz (a), CzP (b), Cz- β -CD (1:1) (c), Cz- β -CD-AgNP (d), CzP- β -CD-AgNP (e)

Для Cz этот процесс происходит при температуре $T_{\text{терм}}(\text{I}) = 260\text{--}440^\circ\text{C}$ (4a), а для CzP при $T_{\text{терм}}(\text{I}) = 240\text{--}500^\circ\text{C}$ (1c). На кривых ДТА наблюдается максимум (рис. 1b,d). Потеря массы Cz и CzP практически завершается при температурах $450\text{--}250^\circ\text{C}$. Начальный период термической деградации Cz- β -CD (1:1) при $T(\text{I})=100^\circ\text{C}$ характеризуется удалением воды, находящейся в полости β -CD. Дальнейшее нагревание комплекса включения Cz- β -CD приводит к потере массы ($\Delta m=65\%$), которая начинается при температуре $T(\text{II})=200\text{--}360^\circ\text{C}$ [7,8]. Термическое разрушение комплекса Cz- β -CD происходит по механизму последовательного разрыва связей и высвобождения компонентов комплекса из полости молекулы β -CD. Для комплексов включения Cz(CzP)- β -CD, модифицированных Ag, на начальных этапах нагрева наблюдается аналогичное поведение. Первый пик на кривой ДТА ($T(\text{I}) = 100^\circ\text{C}$) связан с удалением воды, находящейся внутри β -ЦД-полости. При $T(\text{II})=280\text{--}440^\circ\text{C}$ на кривых ДТА наблюдается резкая потеря массы ($\Delta m = 74\%$ для Cz- β -CD-Ag и $\Delta m = 62\%$ для CzP- β -CD-Ag), что соответствует окончательному разложению комплексов включения Cz(CzP)- β -CD-AgNP. При дальнейшем нагревании выше 500°C наблюдается стабилизация термостойких остатков, таких как наночастицы серебра. Эти результаты также подтверждаются результатами ИК-анализа (рис. 1a-e).

На следующих этапах исследования представлены результаты отжига Cz и его производных. После термической обработки Cz при температуре 90°C наблюдается небольшая деформация структуры, которая сопровождается потемнением материала.

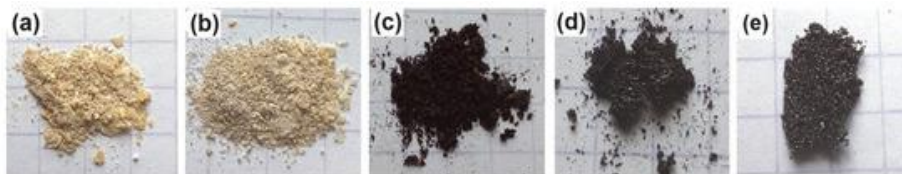


Рисунок 2 - Cz при различных температурах: 90°C (a); 160°C (b); 250°C (c); 315°C (d); 360°C (e)

При отжиге образцов материала при температуре 160°C наблюдается формирование рельефа, характеризующегося мягкими, плавными контурами, напоминающими степной ландшафт (рис.2). Дальнейшая карбонизация цитизина приводит к значительному изменению цвета, выраженному в переходе к тёмно-бежевому оттенку (рис. 3b). [8-10]. На следующих фотографиях (рис. 3) показаны фрагменты отожжённого CzP, полученные при разных температурах нагрева. CzP, отожжённый при низкой температуре (90°C), имеет прозрачные кристаллы (рис. 4a). CzP, отожжённый при высокой температуре (250°C), отличается желтоватым цветом и большей фракцией. Это указывает на начальные стадии разложения материала (рис. 3c). Это указывает на значительные преобразования, произошедшие в процессе обработки (рис. 4d).

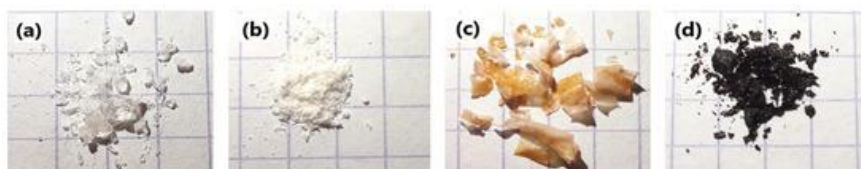


Рисунок 3 - Отжиг CzP при различных температурах:
90°C (a), 160°C (b), 250°C (c), 360°C (d)

После термической обработки при 80°C рельеф комплекса включения Cz- β -CD характеризуется небольшой деформацией с потемнением (рис. 5a). Процесс отжига комплекса включений Cz- β -CD при температуре 270°C характеризуется образованием волнистого рельефа с локальными выступами и углублениями, а последующее обугливание приводит к значительному потемнению материала до светло-коричневого оттенка (рис. 4b).

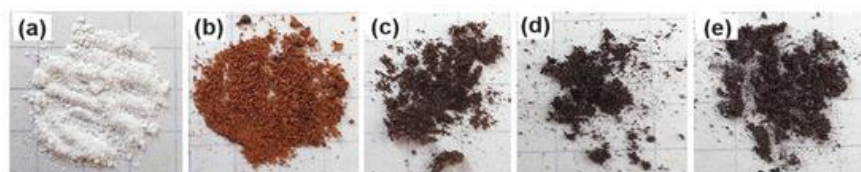


Рисунок 4 - Отожженный комплекс включения Cz- β -CD (1:1) при различных температурах:
(a) 80°C; (b) 270°C; (c) 300°C; (d) 350°C; (e) 450°C

Такие изменения связаны с фазовыми преобразованиями или реорганизацией молекулярной структуры комплекса включения Cz- β -CD. При повышении температуры до 300°C наблюдается усиленное изменение микрорельефа поверхности комплекса включений Cz- β -CD, которые придают поверхности шероховатость (рис. 4c) и металлический блеск (рис. 4d). Отжиг при температуре 450°C приводит к разрушению и распаду хрупкого клатрата, что указывает на почти полное разрушение комплекса Cz- β -CD (рис. 4e). Также был проведён отжиг нанокомпозита Cz- β -CD-AgNP (рис. 5).

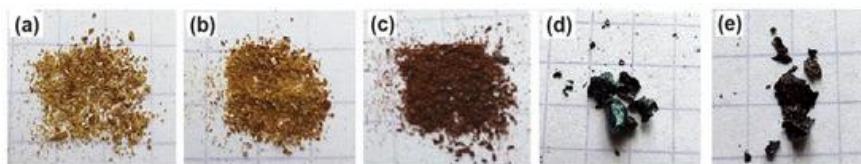


Рисунок 5 - Комплекс включения Cz- β -CD-AgNPs после отжига:
(a) 90°C; (b) 160°C; (c) 250°C; (d) 315°C; (e) 360°C

Отжиг при температуре 250°C не приводит к заметным изменениям в морфологии поверхности комплекса и характеризуется лишь потемнением образца (рис. 5с). При температуре 315°C происходит некоторое сглаживание рельефа поверхности комплекса, потемнение и появление металлического блеска (рис. 5d). Аналогичные исследования были проведены для комплекса включения CzP- β -CD-AgNP. При нагревании комплекса включения β -CD:CzP:Ag до температуры 250°C заметно изменяется его морфология. Рассматриваемые реакции классифицируются как топологические процессы [9,10]. В таких условиях концентрация реагента теряет своё значение, и удобнее использовать параметр α , который представляет собой долю прореагировавшего вещества в определённый момент времени. Математическую модель таких реакций можно представить с помощью дифференциального уравнения с начальным условием, отражающим значение α для реагента A в начале реакции ($t = 0$). Почти все методы расчёта кинетических параметров по термогравиметрическим данным основаны на применении уравнения [9-11]:

$$\frac{d\alpha}{dt} - \beta \frac{d\alpha}{dT} - k(T)f(\alpha) - A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)f(\alpha) \quad (1)$$

Метод Фридмана [10,11] является наиболее распространённым и часто используемым методом изоконверсии. Метод непараметрической кинетики, как и метод Фридмана, позволяет эффективно описывать природу реакций по мере увеличения скорости процесса (рис.6). Однако одной из ключевых особенностей этого подхода является возможность определения формально-кинетических параметров на основе заданного набора данных ($d\alpha/dt$, T и α) при их обработке.

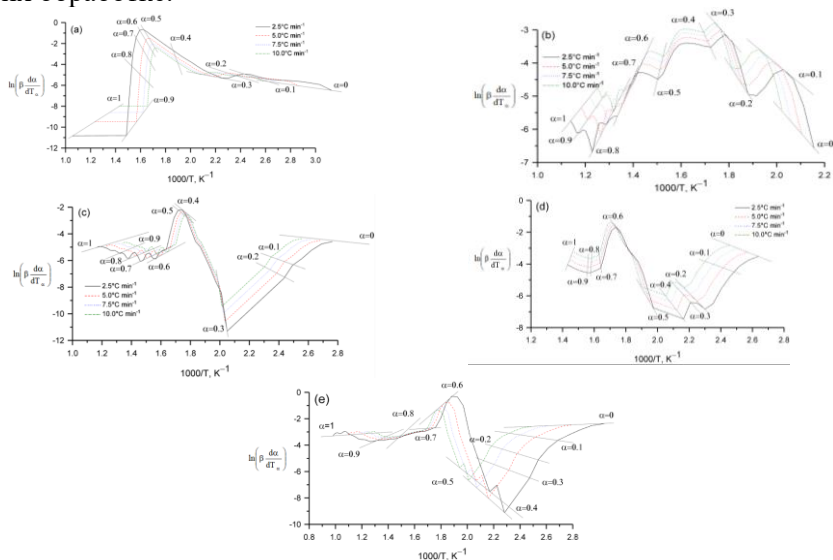


Рисунок 6 - Схематическое изображение дифференциального метода Фридмана: Cz (a); CzP (b); Cit- β -CD (c); Cit- β -CD-AgNPs (d); CzP- β -CD-AgNP (e)

Экспериментальные данные скорости реакции были получены путем вычисления согласно уравнению 1 (таблица 1) и может быть представлена в трехмерной системе координат для Cz; CzP; комплексов β -CD:Cz; β -CD:Cz:Ag; β -CD:CzP:Ag.

Таблица 1 - Кинетические параметры процесса термодеструкции β -CD, цитизин, цитафат и комплексы включения β -ЦД:Cz, β -CD:Cz:Ag, β -CD:CzP:Ag

Образец	$\overline{E}_{NPK}$, кДж моль ⁻¹	$\overline{A}$, с ⁻¹	Шестака-Берггрен		$\overline{E}_{S-B}$, кДж моль ⁻¹	$\overline{A}$, с ⁻¹	$\overline{E}_{FR}$, кДж моль ⁻¹	$\overline{A}$, с ⁻¹
			$\alpha^m(1-\alpha)^n$					
			m	n				
β-CD	83.94	1.56×10 ¹⁵	0.47	0.53	84.60	4.01×10 ¹⁶	83.41	2.72×10 ¹⁵
Cz	89.05	1.46×10 ⁵	0.65	0.34	89.05	2.02×10 ⁶	89.05	1.46×10 ⁵
CzP	90.12	1.54×10 ¹⁸	0.51	0.75	91.09	2.05×10 ¹⁹	90.01	2.14×10 ¹⁸
β-CD:Cz	93.73	1.25×10 ¹⁸	0.35	0.64	93.59	1.00×10 ¹⁹	91.23	1.76×10 ¹¹
β-CD:Cz:Ag	85.62	2.04×10 ¹⁰	0.53	0.47	85.09	7.82×10 ¹⁰	85.62	2.10×10 ¹⁰
β-CD:CzP:Ag	93.03	2.89×10 ¹⁸	0.66	1.34	94.32	1.05×10 ¹²	90.94	1.01×10 ¹²

4. Заключение

Методами термогравиметрического и дифференциального термогравиметрического анализов получены данные кинетики термического разложения инкапсулированных комплексов включений цитизина и его производных, модифицированные наночастицами серебра. Полученные энергетические профили, воспроизведенные различными аналитическими и расчетными методами, показали, что процесс разрушения молекул клатратов начинается с реакций с более высокими значениями энергии активации и продолжается с равномерным уменьшением E_a вдоль пути реакции, что свидетельствует о многостадийности процесса. Применение различных методов позволило получить значения энергетических профилей процессов разрушения молекул клатратов. Полученные кинетические данные способствуют прогнозированию свойства полученных композиций наночастиц серебра, функционализированные клатратным комплексом цитизина и его фосфорпроизводного в условиях длительного хранения и поиску оптимальных путей их стабилизации

Финансирование: Научно-исследовательская работа осуществлена в рамках ПЦФ BR24992921 Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов между авторами.

ЦИТИЗИН БЕТА-ОЛИГОСАХАРИД КЛАТРАТЫМЕН ФУНКЦИЯЛАНДЫРЫЛҒАН КҮМІС НАНОБӨЛШЕКТЕР КОМПОЗИЦИЯЛАРЫНЫҢ ТЕРМОХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

С.Д.Фазылов^{1*}, О.А.Нүркенов^{1,2}, А.Ж.Сәрсенбекова³, Р.Е.Бәкірова⁴, А.Б.Татеева³,
А.Қ.Сыздықов^{1,2}, А.К.Свидерский⁵, А.Ж.Меңдібаева^{1,2}

¹ҚР органикалық синтез және көмір химиясы институты, Қарағанды, Қазақстан

²Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан

³Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, Қарағанды, Қазақстан

⁴Қарағанды медициналық университеті, Қарағанды, Қазақстан

⁵О. Байқоңыров атындағы Жезқазған университеті, Жезқазған, Қазақстан

*E-mail: iosu8990@mail.ru

Түйіндемесі. *Кіріспе.* Мақалада цитизиннің β-олигосахаридті клатрат кешенімен және оның О, О-диметилфосфат туындысымен функционалдандырылған күміс нанобөлшектерінің құрамының термохимиялық қасиеттері қарастырылады. *Әдістеме.* Термогравиметриялық және дифференциалды термогравиметриялық талдау әдістерімен зерттелетін субстраттардың термиялық ыдырау кинетикасы, сондай-ақ олардың күміс нанобөлшектерімен модификацияланған инкапсуляцияланған қосындылар кешендерінің деректері алынды. *Нәтижелер және талқылау.* Сканерлеуші электронды микроскопта әртүрлі температуралық режимдердің әсерінен олардың құрылымының эволюциясын талдауға бағытталған зерттеулер жүргізілді. Клатрат молекулаларының ыдырау процестерінің энергетикалық профильдері алынды. Клатрат молекулаларының ыдырау процесі белсендіру энергиясының жоғары мәндері бар реакциялардан басталып, реакция жолында Е_a біркелкі төмендеуімен жалғасады, бұл процестің көп сатылы екенін көрсетеді. Зерттеу нәтижелері нанокомпозициялардың тиісті фазалық өзгерістерін, сондай-ақ қайта кристалдану процестерін және күйдіру нәтижесінде инклюзия кешендерінде болатын басқа өзгерістерді анықтауға мүмкіндік берді. *Қорытынды.* Алынған кинетикалық деректер ұзақ мерзімді сақтау жағдайында цитизин мен оның фосфор туындысының β-олигосахаридті клатрат кешенімен жұмыс істейтін күміс нанобөлшектерінің алынған композицияларының қасиеттерін болжауға және оларды тұрақтандырудың оңтайлы жолдарын іздеуге ықпал етеді.

Түйінді сөздер: күміс нанобөлшектері, цитизин, β-олигосахарид, қосу кешені, термиялық ыдырау.

Фазылов Серік Дахметұлы	ҚР ҰҒА академигі, химия ғылымдарының докторы, профессор
Нүркенов Оралғазы Ақтайұлы	Химия ғылымдарының докторы, профессор
Сәрсенбекова Ақмарал Жақанқызы	Химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор
Бакирова Рысжан Емельқызы	Медицина ғылымдарының докторы, профессор
Татеева Алма Баймағанбетовна	Химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор
Сыздықов Ардақ Қанағатұлы	PhD студенті, кіші ғылыми қызметкер
Свидерский Александр Константинович	Химия ғылымдарының докторы, профессор
Меңдібаева Анель Жанатқызы	PhD студенті, кіші ғылыми қызметкер

Список литературы

1. Lulu – Liu, Chuang Ge, Yu Zhang, Wenrui Ma, Xi Su, Li Chen, Shunbo Li, Li Wang, Xiaojing Mu, Yi Xu. Tannic acid modified silver nanoparticles for enhancing anti-biofilms activities and modulating biofilms formation process. *Biomaterials Science*, **2020**, 8(17), 4852–4860. DOI: 10.1039/D0BM00648C
2. Qamer S, Romli M.H., Che-Hamzah F., Misni N., Joseph N.M.S., AL-Haj N.A., Amin-Nordin S. Systematic Review on Biosynthesis of Silver Nanoparticles and Antibacterial Activities: Application and Theoretical Perspectives. *Molecules*, **2021**, 26(16), 5057. DOI: 10.3390/molecules26165057
3. Tehri N., Vashishth A., Gahlaut A., Hooda V. Biosynthesis, antimicrobial spectra and applications of silver nanoparticles: current progress and future prospects. *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, **2020**, 52(1), 1–19. DOI:10.1080/24701556.2020.1862212
4. Walker N., Howe C., Glover M., McRobbie H., Barnes J., Nosa V., Parag V., Bassett B., Bullen Ch. Cytisine versus Nicotine for Smoking Cessation, *Randomized Controlled Trial*, **2014**, 371, 2353–2362. DOI: 10.1056/NEJMoa1407764
5. Gannimani R., Ramesh M., Mtambo S., Pillay K., Mahmoud E. S., Govender P. γ -Cyclodextrin capped silver nanoparticles for molecular recognition and enhancement of antibacterial activity of chloramphenicol, *Journal of Inorganic Biochemistry*, **2016**, 157, 15–24. DOI:10.1016/j.jinorgbio.2016.01.008.
6. Zhang X-F, Liu Z-G, Shen W, Gurunathan S. Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Properties, Applications, and Therapeutic Approaches. *International Journal of Molecular Sciences*, **2016**, 17(9), 1534. DOI:10.3390/ijms17091534
7. Muldakhmetov Z., Fazylov S., Gazaliev A., Nurkenov O., Seilkhanov O. The synthesis of new inclusion compounds complexes cytosine: β -cyclodextrin. *News of the national Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan Series Chemistry and technology*. **2022**. 2, N451, 112–120. DOI: 10.32014/2022.2518-1491.107
8. Šesták. J. Errors of kinetic data obtained from thermogravimetric curves at increasing temperature. *Talanta*, **1966**, 13, 567–579. DOI:10.1016/0039-9140(66)80267-9.
9. Serra R., Nomen R., Sempere J. The non-parametric kinetics a new method for the kinetic study of thermoanalytical data. *J. Therm. Anal. Calorim.*, **1998**, 52, 933–943. DOI: 10.1023/A:1010120203389.
10. Friedman H.I. New methods for evaluating kinetic parameters from thermal analysis data. *J. Polym. Sci.* **1969**, 7, 41–46. DOI: 10.1002/pol.1969.110070109.
11. Vlase T., Vlase G., Doca N., Bolcu C. Processing of non-isothermal TG data. Comparative kinetic analysis with NPK method. *J. Therm Anal Calorim.*, **2005**, 80, 59–64. DOI: 10.1007/s10973-005-0613-x.

References

1. Lulu – Liu, Chuang Ge, Yu Zhang, Wenrui Ma, Xi Su, Li Chen, Shunbo Li, Li Wang, Xiaojing Mu, Yi Xu. Tannic acid modified silver nanoparticles for enhancing anti-biofilms activities and modulating biofilms formation process. *Biomaterials Science*, **2020**, 8(17), 4852–4860. DOI: 10.1039/D0BM00648C
2. Qamer S, Romli M.H., Che-Hamzah F., Misni N., Joseph N.M.S., AL-Haj N.A., Amin-Nordin S. Systematic Review on Biosynthesis of Silver Nanoparticles and Antibacterial Activities: Application and Theoretical Perspectives. *Molecules*, **2021**, 26(16), 5057. DOI: 10.3390/molecules26165057
3. Tehri N., Vashishth A., Gahlaut A., Hooda V. Biosynthesis, antimicrobial spectra and applications of silver nanoparticles: current progress and future prospects. *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, **2020**, 52(1), 1–19. DOI:10.1080/24701556.2020.1862212
4. Walker N., Howe C., Glover M., McRobbie H., Barnes J., Nosa V., Parag V., Bassett B., Bullen Ch. Cytisine versus Nicotine for Smoking Cessation. *Randomized Controlled Trial*, **2014**, 371, 2353–2362. DOI: 10.1056/NEJMoa1407764
5. Gannimani R., Ramesh M., Mtambo S., Pillay K., Mahmoud E. S., Govender P. γ -Cyclodextrin capped silver nanoparticles for molecular recognition and enhancement of antibacterial activity of chloramphenicol. *J. Inorg. Biochem.* **2016**, 157, 15–24. DOI:10.1016/j.jinorgbio.2016.01.008.

6. Zhang X-F, Liu Z-G, Shen W, Gurunathan S. Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Properties, Applications, and Therapeutic Approaches. *International Journal of Molecular Sciences*, **2016**, 17(9), 1534. DOI:10.3390/ijms17091534
7. Muldakhmetov Z., Fazylov S., Gazaliev A., Nurkenov O., Seilkhanov O. The synthesis of new inclusion compounds complexes cytosine: β -cyclodextrin. *News of the national Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan Series Chemistry and technology*. **2022**. 2, N451, 112-120. DOI: [10.32014/2022.2518-1491.107](https://doi.org/10.32014/2022.2518-1491.107)
8. Šesták. J. Errors of kinetic data obtained from thermogravimetric curves at increasing temperature. *Talanta*, **1966**, 13, 567–579. DOI:[10.1016/0039-9140\(66\)80267-9](https://doi.org/10.1016/0039-9140(66)80267-9).
9. Serra R., Nomen R., Sempere J. The non-parametric kinetics a new method for the kinetic study of thermoanalytical data. *J. Therm. Anal. Calorim.*, **1998**, 52, 933–943. DOI: 10.1023/A:1010120203389.
10. Friedman H.I. New methods for evaluating kinetic parameters from thermal analysis data. *J. Polym. Sci.* **1969**, 7, 41–46. DOI: 10.1002/pol.1969.110070109.
11. Vlase T., Vlase G., Doca N., Bolcu C. Processing of non-isothermal TG data. Comparative kinetic analysis with NPK method. *J. Therm Anal Calorim.*, **2005**, 80, 59-64. DOI: 10.1007/s10973-005-0613-x.