

УДК 547.995.12

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И pH СРЕДЫ НА СВОЙСТВА КОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРОВ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ZnSe И CdSe В ОБОЛОЧКЕ ХИТОЗАНА

© С.А. Безносюк, И.А. Штоббе*, А.С. Новикова

Алтайский государственный университет, пр. Ленина, 61, Барнаул, 656049
(Россия), e-mail: schtobbe@mail.ru

В данной работе представлена методика синтеза коллоидных квантовых точек ZnSe и CdSe в водной среде, стабилизированных раствором хитозана при разных значениях pH, а также проведены исследования свойств полученных растворов в зависимости от температуры и pH.

Установлено, что с увеличением pH в области 4.50–5.45 величина светопропускания коллоидных растворов квантовых точек в оболочке хитозана увеличивается, как в случае селенида цинка, так и в случае селенида кадмия.

Проведено исследование влияния кислотности среды на величину кинематической вязкости коллоидных растворов. Установлено, что с увеличением pH среды в интервале 4.50–5.45 кинематическая вязкость коллоидных растворов квантовых точек ZnSe и CdSe уменьшается: в обоих случаях наблюдается резкое падение значений кинематической вязкости в области 4.50–4.75 и более плавное уменьшение в интервале 4.75–5.25.

Показано, что стабилизирующее действие хитозана в коллоидных растворах полупроводниковых наночастиц зависит от температуры. Наибольшей устойчивостью во времени обладают коллоидные растворы, приготовленные при температурах 35, 40 и 45 °С, в которых снижение значений светопропускания во времени было наименьшим. Растворы, синтезированные при температуре 25 °С, так же как и при более высоких температурах (35, 40, 45 и 70 °С), не проявляли высокой агрегативной устойчивости.

Ключевые слова: селенид цинка, селенид кадмия, хитозан, хитин, pH среды, защитная оболочка, стабилизация, квантовые точки, коллоидный раствор, нанокристаллические флуорофоры.

Введение

Природные биополимеры, такие как широко распространенный хитин, входящий в состав клеток сапрофитных растений и выполняющий функцию поддержания клеточного каркаса, а также его производное – хитозан, – благодаря своим уникальным функциональным свойствам завоевывают все больший и больший интерес среди исследователей [1, 2].

Применение подобных полимерных материалов довольно разнообразно. Например, в фармацевтике хитозан и его производные используются для выделения лекарственных средств и обеспечивают эффект пролонгирования их действия. Биоразлагаемые носители различных фармацевтических форм лекарственных препаратов синтезируют из хитозана, так как эти природные полисахариды являются абсолютно нетоксичными для человека веществами и полностью деградируют внутри организма. В настоящее время на основе хитозана

Безносюк Сергей Александрович – заведующий кафедрой физической и неорганической химии химического факультета, доктор физико-математических наук, профессор, e-mail: bsa1953@mail.ru

Штоббе Ирина Андреевна – аспирант кафедры физической и неорганической химии химического факультета, e-mail: schtobbe@mail.ru

Новикова Анна Сергеевна – студентка 1 курса магистратуры кафедры физической и неорганической химии химического факультета, e-mail: anichka773742@mail.ru

создано большое количество биологически активных добавок. Кроме того, некоторые соединения хитозана, такие, например, как его сульфат, обладают антикоагулянтными свойствами и, тем самым, способствуют уменьшению интенсивности деления раковых клеток, а значит могут быть использованы для лечения онкозаболеваний [3–5].

Соединения на основе хитозана обладают свойствами флокулянтов и могут применяться в

* Автор, с которым следует вести переписку.

качестве очистителей загрязненных вод, например, от ионов тяжелых металлов. Благодаря наличию в молекуле хитозана большого количества аминогрупп, он проявляет свойства хорошего комплексообразователя, вследствие чего может быть использован для связывания и концентрирования ионов металлов в растворах. Кроме того, поведение молекул хитозана в растворе, как полиэлектролита, позволяет использовать еще одно его важное свойство – наличие зависимости конформации молекул полимера от уровня кислотности среды [6, 7]. Данная зависимость была исследована в представленной работе.

Тот факт, что хитозан способен концентрировать на себе ионы металлов, которые впоследствии могут служить основой для формирования неорганических гетероструктур, дает возможность использовать данный полисахарид еще и как натуральный стабилизатор для обеспечения агрегативной устойчивости коллоидных кристаллических частиц нанометрового масштаба, таких, например, как квантовые точки [8, 9].

Квантовыми точками называют мельчайшие, в диапазоне от 2 до 20 нм, кристаллики полупроводниковых материалов, которые за счет своих малых размеров обнаруживают уникальные оптические свойства. Эти нанокристаллические частицы обладают способностью люминесцировать при облучении. Данную способность квантовые точки приобретают благодаря проявлению в них так называемого эффекта конфайнмента, который заключается в том, что в полупроводниковых кристаллических объектах нанометрового масштаба в результате пространственного «запирания» носителей заряда происходит уширение запрещенной зоны, а в валентной зоне и зоне проводимости появляются дискретные энергетические уровни [10].

Способность к люминесценции квантовых точек предоставила исследователям возможность использования этих материалов в такой важной для людей области, как биомедицина. В частности, квантовые точки применяют в качестве флуорофоров для визуализации раковых клеток внутри живого организма. Несомненно, для того чтобы неорганический материал квантовых точек был совместим с биологической средой, ему необходима некая органическая оболочка, выступающая и как защитное покрытие, и как связующее вещество между твердой кристаллической частицей и биологическими молекулами. Подобной оболочкой и может послужить хитозан [11–15].

В данной работе нами были исследованы нанокристаллы таких полупроводников, как селенид цинка и селенид кадмия. Длина волны люминесценции квантовых точек на основе селенида цинка составляет около 400 нм. Нанокристаллы селенида кадмия люминесцируют в диапазоне 500–800 нм [12].

Цель работы – выявление зависимости получаемых на основе хитозана коллоидных растворов квантовых точек селенида цинка и селенида кадмия от температуры и pH среды.

Экспериментальная часть

Приготовление растворов хитозана различной кислотности. Порошок готового кислоторастворимого хитозана со степенью дезацетилирования 85%, приобретенный в ЗАО «Вектон» (Санкт-Петербург) растворяли в 2% уксусной кислоте, получая раствор с массовым содержанием хитозана 0.1%. С помощью прибора «Иономер универсальный ЭВ-74» измеряли первоначальный уровень кислотности в приготовленных растворах, а затем повышали уровень pH в них с помощью добавления по каплям небольшого количества высококонцентрированной щелочи. Исследуемые растворы обладали pH, равными 4.50, 4.65, 4.75, 5.05 и 5.45.

Приготовление исходных растворов для синтеза. Источником ионов Zn^{2+} служил хлористый цинк $ZnCl_2$. Источником ионов Cd^{2+} – хлористый кадмий $CdCl_2 \cdot 2,5H_2O$. Кристаллический порошок растворяли отдельно друг от друга в деионизованной воде, получая растворы 0.008 М $ZnCl_2$ и 0.01 М $CdCl_2$.

Для того чтобы приготовить исходный раствор, содержащий ионы Se^{2-} , взяли 2.36 г элементарного селена в виде сухого металлического порошка и развели его при нагревании до 80 °С и постоянном перемешивании в водном растворе сернистокислого натрия Na_2SO_3 , полученном смешением 9.48 г безводного сульфита натрия и 120 мл деионизованной воды. Металлический порошок переходил в раствор без остатка с образованием 0.25 М селеносульфата натрия Na_2SeSO_3 . Полученный раствор селеносульфата натрия остужали до комнатной температуры и использовали для синтеза в свежеприготовленном виде.

Методика синтеза квантовых точек. Для получения коллоидных растворов нанокристаллических полупроводников был использован ранее описанный нами способ низкотемпературного водного коллоидного синтеза [16]. В заранее приготовленные растворы хитозана с определенной кислотностью мы прибавляли по отдельности растворы ионов металла и энергично перемешивали в течение нескольких минут. В это время в растворах образовывались комплексные соединения полисахарида хитозана с ионами металла вида

$\text{СНI-NH}_2\text{Zn}^{2+}$ и $\text{СНI-NH}_2\text{Cd}^{2+}$. Далее в растворы образовавшихся комплексов медленно по каплям при постоянном перемешивании вводили свежеприготовленный раствор селеносульфата натрия. Растворы спустя несколько секунд приобретали цвет. В случае ионов цинка раствор становился светло-оранжевым, что говорило об образовании в растворе нанокристаллов селенида цинка. В случае ионов кадмия окрашивание было желтоватым, это свидетельствовало о получении частиц селенида кадмия.

Для проведения исследований зависимости защитного действия хитозана от температуры коллоидные растворы квантовых точек готовили при температурах 25, 35, 40, 45 и 70 °С. Постоянную заданную температуру поддерживали с помощью «Бани термостатирующей ТЖ-ТБ-01/12Ц».

В процессе подготовки исходных растворов и на протяжении всего синтеза в качестве реакционной среды использовали деионизованную воду, которую получали с помощью установки «Деионизатор мембранный ДМЭ-4Б».

Измерение вязкости. У приготовленных растворов квантовых точек селенида цинка и селенида кадмия в оболочке хитозана измерили величину кинематической вязкости в зависимости от кислотности среды. Для этого использовали капиллярный вискозиметр марки ВПЖ-2 с диаметром капилляра $d=1.31$ и постоянной вискозиметра $0.3 \text{ мм}^2/\text{с}^2$. Исследуемые коллоидные растворы при температуре 25 °С, поддерживаемой с помощью «Бани термостатирующей ТЖ-ТБ-01/12Ц», истекали через тонкий капилляр из резервуара вискозиметра за определенное время, которое засекалось на секундомере. Затем полученное время умножалось на постоянную вискозиметра, чтобы выявить значение кинематической вязкости. У коллоидных растворов с разной кислотностью величина кинематической вязкости отличалась.

Измерение уровня светопропускания. Для того чтобы измерить уровень светопропускания полученных растворов квантовых точек в оболочке хитозана с разным pH среды, мы использовали прибор «Фотоэлектродиметр КФК-2». Суть метода измерения заключалась в том, что световой поток определенной длины волны направляли сразу на две кюветы, в которых находились исследуемый и стандартный растворы при температуре 25 °С. Длина волны пропускаемого света – 440 нм, цвет светофильтра синий. Стандартный раствор – деионизованная вода. По мере прохождения света сквозь коллоидный раствор, содержащий твердые кристаллические частицы, осуществлялись процессы рассеяния и отражения световых лучей от поверхности нанокристаллов, в результате чего уровень светопропускания ослабевал. У растворов с различной кислотностью значения уровня светопропускания различались.

Обсуждение результатов

Осуществленный в данной работе низкотемпературный коллоидный водный синтез квантовых точек селенида цинка и селенида кадмия в оболочке хитозана включал в себя четыре основных стадии. Во время разведения порошка хитозана в водном растворе уксусной кислоты шел процесс протонирования молекул полимера, то есть ионы водорода присоединялись к аминогруппам хитозана, сообщая молекулам положительные заряды. На втором этапе протонированный хитозан концентрировал на себе ионы металла (цинка или кадмия), при этом происходило замещение подвижных ионов водорода на ионы металлов. После этого в раствор вводились ионы селена, которые вступали в связь с ионами металла, таким образом в хитозановой матрице формировались полупроводниковые нанокристаллические частицы. В конце концов, полученные коллоидные квантовые точки селенида цинка и селенида кадмия стабилизировались оболочкой хитозана за счет процесса физической адсорбции последнего на поверхности нанокристаллов [17, 18].

Так как первоначально приготовленные 0.1% растворы хитозана обладали pH = 4.5, а при pH, равном 6.0, хитозан выпадает в осадок, то значения кислотности среды исследуемых растворов были выбраны произвольно, но укладывались в интервал от 4.5 до 6.0.

Результаты измерений кинематической вязкости исследуемых коллоидных растворов в зависимости от кислотности среды представлены на рисунке 1. Кривая 1 иллюстрирует изменение вязкости раствора квантовых точек селенида цинка, кривая 2 характеризует вязкость раствора квантовых точек селенида кадмия. По оси абсцисс отложен уровень кислотности среды.

Рисунок 1 иллюстрирует уменьшение кинематической вязкости растворов квантовых точек при увеличении pH среды. Ранее доказано, что вязкость растворов, содержащих высокомолекулярные соединения, находится в зависимости от формы полимерных молекул, перемещение которых в растворе идет намного труднее по сравнению с перемещением низкомолекулярных веществ. Хитозан в растворах может находиться

в глобулярном виде или в виде спирали [19]. В случае конформации спирали полимер в растворе имеет жесткую упорядоченную структуру, обусловленную наличием водородных связей между аминогруппами, гидроксильными группами и атомами кислорода гликозидной связи и пиранозного кольца отдельных молекул, и, как следствие, обладает высокой вязкостью. В случае глобулярной структуры вязкость хитозана уменьшается в результате разрыва межмолекулярных связей и облегчения перемещения молекул полимера друг относительно друга в растворе [20].

Конформация полимерных молекул, в свою очередь, как известно, зависит от уровня кислотности среды. При низком pH степень протонирования макромолекул высокая и близка к единице, вследствие чего молекула полимера принимает вид спирали за счет сил электростатического отталкивания, действующих между отдельными NH_3^+ группами молекул. При повышении pH уровень степени протонирования понижается, что приводит к уменьшению отталкивания одноименных зарядов, и молекула свободно сворачивается в клубок.

Проведенные в данной работе исследования вязкости хорошо согласуются с вышеописанными фактами: кинематическая вязкость коллоидных растворов квантовых точек селенида цинка и селенида кадмия, синтезированных на основе растворов хитозана, уменьшается при увеличении pH (рис. 1).

С целью выяснения зависимости величины светопропускания полученных коллоидных растворов от кислотности среды были проведены соответствующие измерения и построены кривые (рис. 2).

Из рисунка 2 следует, что с увеличением pH среды величина светопропускания коллоидных растворов увеличивается, то есть растворы становятся более прозрачными при высоких pH. Можно предположить, что данный эффект вызван тем, что в растворах с большим значением pH формируемые квантовые точки обладают более мелкими размерами и за счет своего малого диаметра отражают и преломляют падающий свет в меньшей степени. Образование нанокристаллов низких размеров при высоком значении pH среды, возможно, объясняется тем, что в этом случае во время синтеза на слабопротонированных хитозановых молекулах образуется большое количество центров нуклеации коллоидных частиц, так как большое число аминогрупп является доступным для связи с ионами металла [10, 17].

Если же pH среды понижается, степень протонирования макромолекул увеличивается, затрудняя образование центров нуклеации квантовых точек, в результате чего частицы получаются более крупные, что сказывается на возникновении преобладания явлений отражения и преломления света в растворе и, как следствие, приводит к снижению уровня светопропускания. Таким образом растворы становятся менее прозрачными.

На рисунках 3 и 4 представлено изменение светопропускания коллоидных растворов квантовых точек ZnSe и CdSe в оболочке хитозана во времени в зависимости от температуры.

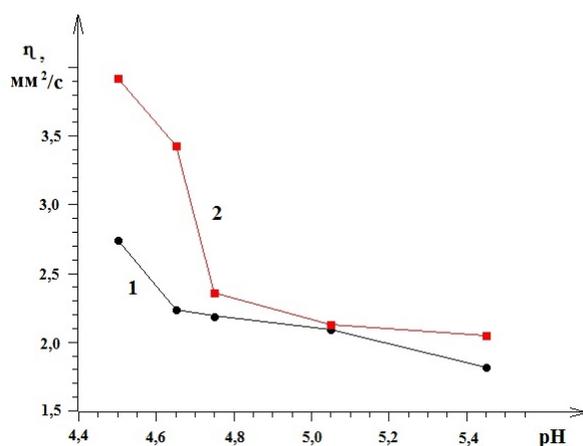


Рис. 1. Зависимость величины кинематической вязкости коллоидных растворов квантовых точек в оболочке хитозана от pH среды: 1 – ZnSe; 2 – CdSe

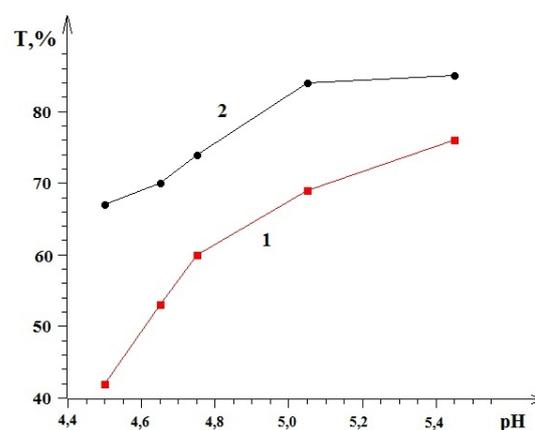


Рис. 2. Зависимость величины светопропускания коллоидных растворов квантовых точек в оболочке хитозана от pH среды: 1 – ZnSe; 2 – CdSe

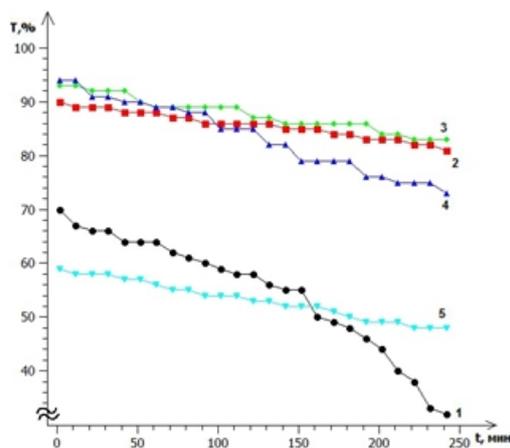


Рис. 3. Изменение светопропускания коллоидных растворов квантовых точек ZnSe в оболочке хитозана во времени в зависимости от температуры: 1 – 70 °C; 2 – 45 °C; 3 – 40 °C; 4 – 35 °C; 5 – 25 °C

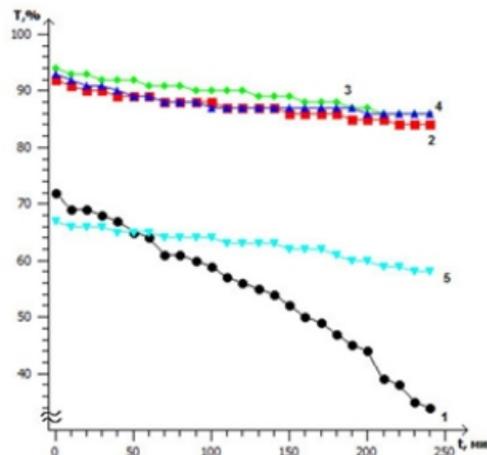


Рис. 4. Изменение светопропускания коллоидных растворов квантовых точек CdSe в оболочке хитозана во времени в зависимости от температуры: 1 – 70 °C; 2 – 45 °C; 3 – 40 °C; 4 – 35 °C; 5 – 25 °C

Как следует из рисунков 3 и 4, зависимость стабилизирующего действия хитозана в коллоидных растворах от температуры носит экстремальный характер. Можно предположить, что наночастицы полупроводника, синтезированные при низкой температуре, обладают более крупными размерами, вследствие чего быстро подвергаются агрегации, что выражается в резком уменьшении величины светопропускания этих растворов. Слишком высокая температура синтеза (70 °C) может приводить к ухудшению защитного действия стабилизатора за счет снижения величины адсорбции полимера при высоких значениях температур. При температурах 35, 40 и 45 °C величины светопропускания со временем снижались незначительно, что свидетельствует о высоком стабилизационном действии хитозана – в этих растворах адсорбционное взаимодействие полимерных молекул с поверхностью коллоидных частиц было более прочным.

Выводы

В данной работе с применением низкотемпературного коллоидного водного способа были получены растворы квантовых точек селенида цинка и селенида кадмия в оболочке хитозана при разных значениях кислотности среды. У полученных растворов была исследована зависимость кинематической вязкости от pH. Выявлено, что с увеличением уровня pH величина кинематической вязкости коллоидных растворов квантовых точек в оболочке хитозана уменьшается. Это связано с переходом молекул полимера в области высоких pH в конформацию клубка, которая обеспечивает более легкое перемещение макромолекул хитозана друг относительно друга в растворе.

Вязкость растворов квантовых точек в оболочке хитозана при низких значениях pH увеличивается. Это объясняется тем, что малый уровень pH среды обеспечивает увеличение степени протонирования хитозана, что приводит к переходу макромолекул в конформацию спирали. Отдельные спиралевидные молекулы полимера вступают в межмолекулярные взаимодействия друг с другом, образуя жесткий молекулярный каркас, препятствующий свободному истечению жидкости.

Кроме того, в данной работе было проведено исследование зависимости величины светопропускания полученных растворов от кислотности среды. Установлено, что с увеличением pH уровень светопропускания повышается. Можно предположить, что данный факт объясняется явлением зависимости размеров синтезируемых в матрице хитозана кристаллических наночастиц от величины кислотности раствора.

Также было выяснено, что стабилизирующая способность хитозана в коллоидных растворах имеет зависимость от температуры.

Список литературы

1. Muzzarelli R.A. Chitin. Oxford, 1977. 309 p.
2. Stankiewicz B.A., Mastalerz M., Hof C.H.J., Bierstedt A., Flannery M.B., Briggs D.E.G., Evershed R.P. Biodegradation of the chitin-protein complex in crustacean cuticle // *Organic Geochemistry*. 1998. Vol. 28, issue 1–2. Pp. 67–76. DOI: 10.1016/S0146-6380(97)00113-7.
3. Takeshi H., Yoko S., Makoto O., Kousuke M. Enzymatic synthesis of an α -chitin-like substance via lysozyme mediate transglycosylation // *Carbohydrate Research*. 2012. Vol. 347, issue 1. Pp. 16–22. DOI: 10.1016/j.carres.2011.09.025.
4. Cui H., Wei W., Suayao W., Zhang L. An overview of the protective effects of chitosan and acetylated chitosan oligosaccharides against neuronal disorders // *Marine drugs*. 2017. Vol. 15, no. 89. Pp. 212–228. DOI: 10.3390/md15040089.
5. Tellam R.L., Eisemann C. Chitin is only a minor component of the peritrophic matrix from larvae of *Lucilia cuprina* // *Insect biochemistry and molecular biology*. 2000. Vol. 30, issue 12. Pp. 1189–1201. DOI: 10.1016/S0965-1748(00)00097-7.
6. Prerna D., Ramanand J. Comparative study of physical and thermal properties of chitosan-silica hybrid coatings prepared by sol-gel method // *Der chemica sinica*. 2012. Vol. 3, no. 3. Pp. 589–601.
7. Vincent J.V. Arthropod cuticle: a natural composite shell system // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2002. Vol. 33, issue 10. Pp. 1311–1315. DOI: 10.1016/S1359-835(02)00167-7.
8. Ki Myong K., Jeong H.S., Sung-Koo K., Curtis L.W. Properties of chitosan films as a function of pH and solvent type // *Journal of Food Science*. 2006. Vol. 71, no. 3. Pp. E119–E124. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2006.tb15624.x.
9. Giraud-Guille M.-M., Bouligand Y. Chitin-protein molecular organisation in arthropod // *Chitin in nature and technology*. 1996. Vol. 6, no. 3. Pp. 29–35. DOI: 10.1007/978-1-4613-2167-5_5.
10. Ndifor-Angwafor N.G., Anagho S.G., Nchare V. Synthesis and determination of the number of [CdSe] units per CdSe nanoparticle // *Int. J. Biol. Chem. Sci.*. 2013. Vol. 7, no. 3. Pp. 1392–1404. DOI: 10.4314/ijbcs.v7i3.44.
11. Perinetti U. Optical properties semiconductor Quantum Dots. Pisa, 2011. 144 p.
12. Завидеев А.С. Исследование спектров люминесценции квантовых точек полупроводников (CdS, CdSe, ZnSe), внедренных в стеклянную матрицу // *Молодежный научно-технический вестник*. 2012. С. 312–319.
13. Gerente C., Lee V. K. C., Le Cloirec P., McKay G. Application of chitosan for the removal of metals from wastewaters by adsorption-mechanisms and models review // *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 2007. Vol. 37, no. 1. Pp. 41–127. DOI: 10/1080.10643380600729089.
14. Tanvi J., Sushil K., Dutta P.K. Chitosan in the light of nanobiotechnology: a mini review // *Journal of biomedical technology and research*. 2015. Vol. 2, no. 2. Pp. 11–17. DOI: 10.19104/jbtr.2015.103.
15. Joyce C.C.S., Alexandra A.P., Herman S.M. One-step biofunctionalization of quantum dots with chitosan and N-palmitoyl chitosan for potential biomedical application // *Molecules*. 2013. Vol. 18, no. 6. Pp. 6550–6572. DOI: 10.3390/molecules18066550.
16. Патент 2601451 (РФ). Способ получения коллоидных полупроводниковых квантовых точек селенида цинка / С.А. Безносюк, И.А. Штоббе. 2015. №31.
17. Безносюк С.А., Штоббе И.А., Новикова А.С. Хитозан как природный стабилизатор коллоидных квантовых точек селенида кадмия // *Новые достижения в химии и технологии растительного сырья: материалы VI Всероссийской конференции*. Барнаул, 2017. С. 111–113.
18. Безносюк С.А., Штоббе И.А., Никифорова Я.О. Аналитические возможности оптически активных квантовых точек селенида цинка при концентрировании ионов Zn(II) в растворе хитозана // *Аналитика Сибири и Дальнего Востока: материалы X всероссийской научной конференции с международным участием*. Барнаул, 2016. С. 176–177.
19. Кузина Л.Г., Мурзагильдина А.С., Чернова В.В., Кулиш Е.И. Влияние степени протонирования хитозана на некоторые его свойства // *Вестник Башкирского университета. Химия*. 2012. Т. 17, №2. С. 902–904.
20. Федосеева Е.Н., Смирнова Л.А., Федосеев В.Б. Вязкостные свойства хитозана и его реакционная способность // *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского*. 2008. №4. С. 59–64.

Поступила в редакцию 13 мая 2018 г.

После переработки 28 октября 2018 г.

Принята к публикации 6 ноября 2018 г.

Для цитирования: Безносюк С.А., Штоббе И.А., Новикова А.С. Исследование влияния температуры и pH среды на свойства коллоидных растворов квантовых точек ZnSe и CdSe в оболочке хитозана // *Химия растительного сырья*. 2019. №2. С. 289–295. DOI: 10.14258/jcrpm.2019024068.

Beznosyuk S.A., Shtobbe I.A.* , Novikova A.S. STUDY OF THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND pH LEVEL ON PROPERTIES OF COLLOIDAL SOLUTIONS OF ZnSe AND CdSe QUANTUM DOTS IN THE SHELL OF CHITOSAN

Altai State University, pr. Lenina, 61, Barnaul, 656049 (Russia), e-mail: shtobbe@mail.ru

In this paper, we present a technique for the synthesis of colloidal quantum dots ZnSe and CdSe in an aqueous medium stabilized with a solution of chitosan at different pH values, and also studies of the properties of the resulting solutions as a function of temperature and acidity of the medium.

It has been established that as the pH is increased in the region of 4.50–5.45, the amount of light transmission of colloidal solutions of quantum dots in the shell of chitosan increases, both in the case of zinc selenide and in the case of cadmium selenide.

The effect of the medium acidity on the kinematic viscosity of the colloidal obtained solutions was studied. It has been established that the kinematic viscosity of colloidal solutions of ZnSe and CdSe quantum dots decreases with increasing pH of the medium in the region of 4.50–5.45: in both cases, there is a sharp drop in the kinematic viscosity in the region of 4.50–4.75 and a smoother decrease in the range of 4.75–5.25.

It is shown that the stabilizing effect of chitosan in colloidal solutions of semiconductor nanoparticles depends on the temperature. The most stable in time are colloidal solutions prepared at a temperature of 35, 40 and 45 °C, in which the decrease in the light transmission in time was the smallest. Solutions synthesized at temperature 25 °C, as well as at higher temperatures (35, 40, 45 и 70 °C), did not show strong aggregative stability.

Keywords: zinc selenide, cadmium selenide, chitosan, chitin, pH of the medium, protective coating, stabilization, quantum dots, colloidal solution, nanocrystalline fluorophores.

References

- Muzzarelli R.A. Chitin. Oxford, 1977. 309 p.
- Stankiewicz B.A., Mastalerz M., Hof C.H.J., Bierstedt A., Flannery M.B., Briggs D.E.G., Evershed R.P. *Organic Geochemistry*, 1998, vol. 28, issue 1–2, pp. 67–76. DOI: 10.1016/S0146-6380(97)00113-7.
- Takeshi H., Yoko S., Makoto O., Kousuke M. *Carbohydrate Research*, 2012, vol. 347, issue 1, pp. 16–22. DOI: 10.1016/j.carres.2011.09.025
- Cui H., Wei W., Suayao W., Zhang L. *Marine drugs*, 2017, vol. 15, no. 89, pp. 212–228. DOI: 10.3390/md15040089.
- Tellam R.L., Eisemann C. *Insect biochemistry and molecular biology*, 2000, vol. 30, issue 12, pp. 1189–1201. DOI: 10.1016/S0965-1748(00)00097-7.
- Prerna D., Ramanand J. *Der chemica sinica*, 2012, vol. 3, no. 3, pp. 589–601.
- Vincent J.V. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2002, vol. 33, issue 10, pp. 1311–1315. DOI: 10.1016/S1359-835(02)00167-7.
- Ki Myong K., Jeong H.S., Sung-Koo K., Curtis L.W. *Journal of Food Science*, 2006, vol. 71, no. 3, pp. E119–E124. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2006.tb15624.x
- Giraud-Guille M-M., Bouligand Y. *Chitin in nature and technology*, 1996, vol. 6, no. 3, pp. 29–35. DOI: 10.1007/978-1-4613-2167-5_5.
- Ndifor-Angwafor N.G., Anagho S.G., Nchare V. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 2013, vol. 7, no. 3. Pp. 1392–1404. DOI: 10.4314/ijbcs.v7i3.44.
- Perinetti, U. Optical properties semiconductor Quantum Dots. Pisa, 2011. 144 p.
- Zavideyev A.S. *Molodezhnyy nauchno-tehnicheskiy vestnik*, 2012, pp. 312–319. (in Russ.).
- Gerente C., Lee V. K. C., Le Cloirec P., McKay G. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 2007, vol. 37, no. 1, pp. 41–127. DOI: 10/1080.10643380600729089.
- Tanvi J., Sushil K., Dutta P.K. *Journal of biomedical technology and research*, 2015, vol. 2, no. 2, pp. 11–17. DOI: 10.19104/jbtr.2015.103.
- Joyce C.C.S., Alexandra A.P., Herman S.M. *Molecules*, 2013, vol. 18, no. 6, pp. 6550–6572. DOI: 10.3390/molecules18066550.
- Patent 2601451 (RU). 2015. (in Russ.).
- Beznosyuk S.A., Shtobbe I.A., Novikova A.S. *Novyye dostizheniya v khimii i tekhnologii rastitel'nogo syr'ya: materialy VI Vserossiyskoy konferentsii*. [New advances in chemistry and technology of plant materials: materials of the VI All-Russian Conference]. Barnaul, 2017, pp. 111–113. (in Russ.).
- Beznosyuk S.A., Shtobbe I.A., Nikiforova YA.O. *Analitika Sibiri i Dal'nego Vostoka: materialy X vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem*. [Analytics of Siberia and the Far East: materials of the X All-Russian Scientific Conference with international participation]. Barnaul, 2016, pp. 176–177. (in Russ.).
- Kuzina L.G., Murzagil'dina A.S., Chernova V.V., Kulish Ye.I. *Vestnik Bashkirskogo universiteta. Khimiya*, 2012, vol. 17, no. 2, pp. 902–904.
- Fedoseyeva Ye.N., Smirnova L.A., Fedoseyev V.B. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo*, 2008, no. 4, pp. 59–64.

Received May 13, 2019

Revised October 28, 2019

Accepted November 6, 2019

For citing: Beznosyuk S.A., Shtobbe I.A., Novikova A.S. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 2, pp. 289–295. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2019024068.

* Corresponding author.

