



Рис. 2. Микрофотографии частиц на 200 мин. синтеза, при а)  $pH = 6,8$ ; б)  $pH = 8$ ; в)  $pH = 9$

Было установлено, что средний диаметр частиц, полученных при  $pH$  6,8, 7 и 8, увеличивается на протяжении всего осаждения, при этом частицы, синтезированные при  $pH$  7 и 8 имели сфероидальную форму, а частицы при  $pH$  6,8 имели осколочную форму. Средний диаметр частиц, полученных при  $pH$  9, не изменялся на протяжении всего синтеза, образец представляет собой гель.

Наблюдаемые зависимости могут быть объяснены при использовании концепции электрокинетической стабилизации лиофильных систем. Предполагается, что при  $pH$  6,8, 7 и 8

специфическая адсорбция сульфат-ионов на поверхности гидросульфата не выражена, при этом заряд на поверхности частиц не образуется, что обеспечивает их рост в процессе осаждения. При  $pH$  9 на поверхности происходит специфическая адсорбция сульфат-ионов, что приводит к формированию двойного электрического слоя и подавлению роста частиц в процессе осаждения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-00188).

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАНОЧАСТИЦ ГЕПТАСУЛЬФИДА РЕНИЯ ДЛЯ ЛИМФОСЦИНТИГРАФИИ

Д.В. Гусева

Научный руководитель – к.х.н., доцент Н.Б. Егоров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, dvg25@tpu.ru

В настоящее время в медицине для радиоизотопной диагностики широко используется изотоп технеция  $^{99m}Tc$ , перемещение и накопление в организме которого регистрируется гамма-камерой. Он обладает некоторыми преимуществами: короткий период полураспада 6,04 часа, менее чем за сутки выводится из организма,  $^{99m}Tc$  легко может быть получен непосредственно в госпиталях из генератора на базе  $^{99}Mo$ , малая энергия  $\gamma$ -излучения (140 кэВ), тем самым, обеспечивает минимальную лучевую нагрузку на организм.

$^{99m}Tc$  применяют для диагностики заболеваний в системе печени, щитовидной железы, почек, селезенки, мозга, слюнных желез, суставов скелета, а также для изучения лимфатической и урологической системы.

Лимфосцинтиграфия – методика, позволяющая диагностировать нарушение лимфотто-

ка и метастатические поражения лимфоузлов у онкобольных. Сторожевой лимфоузел первым получает отток лимфы от места первичной опухоли и, скорее всего, содержит метастатические опухолевые клетки. Используя лимфосцинтиграфию, хирург успешно локализует лимфатические узлы, направлено иссекая пораженные и минимизируя повреждения здоровых тканей. Среди различных используемых методов диагностики, наноносителям уделяется все больше внимания в качестве агентов доставки в лимфатические узлы.

В лимфосцинтиграфии используются радиоактивно меченные макромолекулы: декстран, сывороточный альбумин, коллоидный сульфид сурьмы, коллоидный сульфид рения, коллоидная сера, оксид алюминия, которые метятся  $^{99m}Tc$ .

В отличие от других носителей  $^{99m}Tc$  гепта-

сульфид рения ( $\text{Re}_2\text{S}_7$ ) обладает более ярко выраженной контрастностью, поскольку рений тяжелый металл и не токсичен в отличие от сурьмы, что определяет актуальность синтеза радиофармпрепарата на основе гептасульфида рения и ее практическую значимость.

Наночастицы  $\text{Re}_2\text{S}_7$  являются рентгеноаморфными и обладают неправильной формой, что позволяет использовать их в качестве носителя для  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  в форме  $\text{TcO}_2$ .

В настоящее время наиболее изучены следующие методы получения  $\text{Re}_2\text{S}_7$ : а) обменной реакции кислых растворов перренатов с сероводородом или сульфидами; б) обменной реакцией перренатов с тиосульфатами в кислой среде. В отличие от известных на данный момент методов синтеза  $\text{Re}_2\text{S}_7$ , разрабатываемый нами новый способ получения наночастиц  $\text{Re}_2\text{S}_7$  осуществляется без использования токсичных реагентов, без нагревания и в слабокислой среде.

Целью работы является изучение условий синтеза наночастиц  $\text{Re}_2\text{S}_7$  при УФ-облучении водных растворов, содержащих  $\text{NaReO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ .

Облучение растворов, содержащих  $\text{NaReO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , приводит к появлению в электронном спектре поглощения максимумов при  $\lambda_{\text{макс}} \sim 300$  нм, при  $\lambda_{\text{макс}} \sim 415$  нм, при  $\lambda_{\text{макс}} \sim 480$  нм и при  $\lambda_{\text{макс}} \sim 610$  нм. Раствор при этом окрашивается в светло-коричневый цвет. Учитывая, что УФ-облучение водных растворов  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  излучением с  $\lambda_{\text{макс}} = 229$  нм приводит к образованию элементарной серы, сульфита и сероводорода ( $\text{H}_2\text{S}$ ), предположено, что образующийся при фотолизе  $\text{H}_2\text{S}$

способен реагировать с ионом  $\text{ReO}_4^-$ , последовательно замещая в нем атомы кислорода на атомы серы, с образованием тиоперренатов.

Было определено, что наибольший выход по всем ионам наблюдается при использовании раствора, содержащего  $6 \cdot 10^{-3}$  моль/л  $\text{NaReO}_4$  и 0,4 моль/л  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ .

Электронные микрофотографии и диаграммы распределения наночастиц  $\text{Re}_2\text{S}_7$  показывают, что в начальный момент времени (от 1 до 5 мин.) в растворе происходит формирование коллоидных частиц, имеющих шаровидную форму и размеры от 20 до 100 нм.

Исследование полученного осадка методом рентгенофазового анализа показало, что осадок содержит значительное количество элементарной серы. Спектры рентгенофлуоресцентного анализа показывают, что осадок помимо серы содержит рений. Дифрактограмма продукта, отмытого от элементарной серы, позволяет сделать вывод, что в результате фотолиза водных растворов, содержащих тиосульфаты и перренаты, образуется  $\text{Re}_2\text{S}_7$ .

С использованием УФ- и ИК-спектроскопии, а также рентгенофазового анализа показано, что продуктами фотолиза водных растворов, содержащих тиосульфаты и перренаты являются ионы  $\text{ReO}_3\text{S}^-$ ,  $\text{ReO}_2\text{S}_2^-$ ,  $\text{ReOS}_3^-$ ,  $\text{ReS}_4^-$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{SO}_3^{2-}$ ,  $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$  и элементарная сера.

Таким образом, впервые показано, что при УФ-облучении водных растворов, содержащих тиосульфаты и перренаты происходит образование наночастиц  $\text{Re}_2\text{S}_7$ .

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОГАЩЕНИЯ НЕФТЕТИТАНОВОГО СЫРЬЯ ФЛОТАЦИОННЫМ СПОСОБОМ

С.К. Дурбаева, А.А. Смороков  
Научный руководитель – доцент И.В. Петлин

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, sama\_durbaeva96@mail.ru*

Популярность титана обусловлена широким его применением в разных отраслях промышленности. Производство пигментного диоксида титана, губчатого титана, ферротитана и сварочных электродов является основным на сегодняшний день потребителем титанового сырья.

Пигментный диоксид титана применяется в лакокрасочной, бумажной промышленности, в производстве пластмасс и резиновых изделий, а также в других областях [1]. Россия занимает

третье место в мире по запасам диоксида титана 600 млн. тонн, уступая Китаю и Украине.

Диоксид титана из титановых концентратов производят по сернокислотной и хлорной технологий.

Около 40% диоксида титана заключены в рудах Ярегского нефтетитанового месторождения в Республике Коми [2]. Основной минерал Ярегского месторождения является лейкоксен, который состоит из двух минералов рути-