



Рис. 2. Алгоритм по размещению и проверки средств обнаружения

Использование трехмерной графики позволит закрепить полученные знания и в будущем применить на практике. Также ведется работа над аналитическим модулем данного комплекса, что позволит использовать данный комплекс в промышленности, а также позволит совершенствовать систему физической защиты на этапе проектирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов Б.П., Годовых А.В. Основы проектирования систем физической защиты ядерных объектов. – Томск: ТПУ, 2009. – 118 с.
2. НП-083-15. Требования к системам физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_189442/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_189442/) (дата обращения: 01.10.2020).
3. Соколов Е.Е. Физическая защита ядерных материалов и установок. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 78 с.

#### ФОТОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ $Re_2S_7$

Е.А. Исаева, Н.Б. Егоров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Email: egorov@tpu.ru

#### PHOTOCHEMICAL SYNTHESIS OF $Re_2S_7$ NANOPARTICLES

E.A. Isaeva, N.B. Egorov

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** The production of  $Re_2S_7$  is of interest because of its application in industry as a catalyst and in medicine as a lymphotropic drug (tracer) injected into tissue with subsequent visualization of the lymphatic pathways in cancer patients. The paper considers a new method of obtaining  $Re_2S_7$  by the photochemical method.

Наночастицы гептасульфида рения ( $Re_2S_7$ ) являются рентгеноаморфными и обладают неправильной формой, что позволяет использовать их в качестве объекта ультрафагоцитоза для  $^{99m}Tc$  в форме  $TcO_2$ . Существует два метода получения  $Re_2S_7$ :

а) путем осаждения из кислых растворов перренатов сероводородом;

б) обменной реакцией перренатов с тиосульфатами в кислой среде. В отличие от известных на данный момент методов синтеза  $Re_2S_7$ , разрабатываемый нами новый способ получения наночастиц  $Re_2S_7$  осуществляется без использования токсичных

реагентов и в слабокислой среде. В основе способа лежит облучение УФ-излучением водных растворов, содержащих перренат-ионы и тиосульфат-ионы.

Раствор, содержащий  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  и  $\text{NaReO}_4$ , помещали под УФ-лампу  $\text{KrCl}$  ( $\lambda_{\text{max}}=222$  нм) и облучали при комнатной температуре. Для выделения из облученного раствора твердофазных продуктов использовали центрифугу *Allegra 64R* (26200 об/мин), трехкратно промывали их водой и сушили в вакуумном эксикаторе. Процедуру получения осадка повторяли многократно до накопления количества, достаточного для проведения анализов.

При облучении бесцветный раствор, содержащий  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  и  $\text{NaReO}_4$ , приобретает сначала желтый, а затем темно-коричневый цвет. Скорость окрашивания раствора зависит от концентрации солей и времени фотолиза.

Исследования показали, что из перечисленных источников УФ-излучения при использовании эксимерной лампы  $\text{KrCl}$  в фотолите спектрофотометрическим методом регистрируется наибольшая концентрация продуктов фотолиза. Также было обнаружено, что заметное влияние на процесс фотолиза оказывает кислород воздуха и только в аэрированных растворах возникает интенсивная окраска, обусловленная продуктами фотолиза. Поэтому в дальнейших исследованиях УФ-облучение водных растворов, содержащих  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  и  $\text{NaReO}_4$ , осуществляли на воздухе с использованием эксимерной лампы  $\text{KrCl}$ .

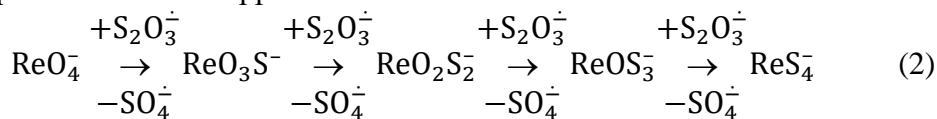
Облучение смеси водных растворов, содержащих  $\text{NaReO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , приводит к появлению в электронном спектре поглощений при  $\sim 300$  нм,  $\lambda_{\text{max}} \sim 415$  нм,  $\lambda_{\text{max}} \sim 480$  нм и  $\lambda_{\text{max}} \sim 610$  нм.

Согласно [1] фотолиз иона  $\text{ReO}_4^-$  происходит в присутствии восстановителя только в сильноокислых растворах. Раствор, содержащий  $\text{NaReO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , имеет почти нейтральную реакцию. Облучение 10 мл раствора в течение 10 мин сопровождается изменением pH от 6.3 до 5.3. Это указывает, что образование окрашенных продуктов фотолиза в водном растворе происходит при взаимодействии  $\text{ReO}_4^-$  с продуктами фотолиза  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ .

Согласно работе [2] фотораспад  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  в водных растворах при УФ-облучении излучением с  $\lambda_{\text{max}} = 228,8$  нм преимущественно протекает по реакции:



Это позволяет предположить, что образующиеся при фотолизе ион-радикалы  $\text{S}_2\text{O}_3^{\cdot-}$  способны реагировать с ионами  $\text{ReO}_4^-$ , последовательно замещая в них атомы кислорода на атомы серы, с образованием тиоперренатов по схеме:



Поэтому отнесение полос поглощения, наблюдаемых после фотолиза смеси водных растворов  $\text{NaReO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , в электронных спектрах было сделано на основании анализа литературных данных по светопоглощению тиоперренатов в водных растворах [3–5]. Поглощения тиоперренат-ионов в электронных спектрах перекрываются, что затрудняет их идентификацию. Полоса поглощения при  $\sim 300$  нм присутствует в спектре всех четырех тиоперренат-ионов, поэтому она обладает самой высокой интенсивностью. В области  $\sim 400$  нм поглощение характерно для ионов  $\text{ReO}_2\text{S}_2^-$  и  $\text{ReOS}_3^-$ . В области  $\sim 500$  нм интенсивная полоса характерна для  $\text{ReS}_4^-$  и перекрывается с поглощением характерным для иона  $\text{ReOS}_3^-$ .

Облучение водных растворов тиосульфатов и перренатов даже в течение 360 мин не приводит к выделению дисперсной фазы. Это указывает, что в процессе фотолиза образуются коллоидные частицы устойчивые к коагуляции. Размеры и морфология полученного фотохимическим способом  $\text{Re}_2\text{S}_7$  была изучена методами электронной

спектроскопии и лазерной дифракции. 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.

Коричневый осадок из объема фотолита центрифугированием можно выделить только после 480 мин его УФ-облучения. Исследование полученного осадка методом рентгенофазового анализа показало, что осадок состоит из элементной серы (PDF 00-008-0247). Поэтому был сделан вывод о том, что вещество, отвечающее за окрашивание элементной серы в коричневый цвет, является рентгеноаморфным. Серу из полученного при центрифугировании осадка удаляли толуолом при комнатной температуре.

Согласно работе [6] для  $\text{Re}_2\text{S}_7$  характерны дифракционные пики при  $2\theta$  равные 35.0, 36.5, 41.8, 42.8 и 48.5 с интенсивность 60, 60, 100, 100 и 80 % соответственно. В нашем случае в дифрактограмме имеются широкие дифракционные пики с максимумами при  $2\theta$  равные 36.03, 43.08 и 57.11. Это позволяет сделать вывод, что в результате фотолитиза водных растворов, содержащих тиосульфаты и перренаты, образуется  $\text{Re}_2\text{S}_7$ , который формируется по схеме:



Таким образом, впервые показано, что при УФ-облучении водных растворов, содержащих  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  и  $\text{NaReO}_4$ , происходит образование наночастиц  $\text{Re}_2\text{S}_7$ .

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-33-90217.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nemodruk A.A. Photochemical reactions in analytical chemistry. – М.: Chemistry, 1972. – 167 p.
2. Sperling R., Treinin A. Charge-transfer-to-solvent spectra of polyvalent anions. ii. the electronic spectrum of  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  // J. Phys. Chem. – 1964. – vol. 68. – no. 4. – P. 897–903.
3. Helz G. R., Dolor M. K. What regulates rhenium deposition in euxinic basins? // Chemical Geology. – 2012. – vol. 304–305. – P. 131–141.
4. Krebs V.B., Kindler E. Struktur und Bindungsverhältnisse des  $\text{ReO}_3\text{S}^-$ -Ions: Die Kristallstruktur von Rubidium-monothioperrhenat // Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie. – 1969. – vol. 368. – P. 293–307.
5. Müller A., Diemann E., Jostes R., Bogge H. Transition metal thiometalates: properties and significance in complex and bioinorganic chemistry // Angew. Chem. Int. Ed. Engl. – 1981. – vol. 20. – P. 934–955.
6. Weixia T., Denizot B. Synthesis of small-sized rhenium sulfide colloidal nanoparticles // Journal of Colloid and Interface Science. – 2007. – vol. 310. – no. 1. – P. 167–170.

#### ФОРМИРОВАНИЕ КВАЗИЧАСТИЦ В РЕШЕНИЯХ НЕЛОКАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ГРОССА-ПИТАЕВСКОГО

А.Е. Кулагин, А.Ю. Трифонов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: aek8@tpu.ru

#### THE QUASIPARTICLE FORMATION IN SOLUTIONS OF THE NONLOCAL GROSS-PITAEVSKII EQUATION

A.E. Kulagin, A.Yu. Trifonov

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** *The semiclassical approximation is considered for the two-dimensional nonlocal Gross-Pitaevskii equation. The work is dedicated to the study of the evolution of the initial state, which is the superposition of two wave packets. We interpret the constructed solution as an*