

УДК 539.216.2:620.198

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ $WO_3$ МИКРОКОМПОЗИТОВ

Алина Алуа

[alua\\_lenzatova@indox.ru](mailto:alua_lenzatova@indox.ru)

Докторант 1-го курса специальности 6D060500 "Ядерная физика"  
физико-технического факультета ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан  
Научный руководитель – PhD, преподаватель-исследователь Козловский А.Л.

### Введение

В последние десятилетия для решения данной проблемы и увеличения эффективности утилизации органических красителей и их отходов были предложены способы фотокаталитического разложения под действием УФ-излучения с использованием металлических нано- и микроструктур, а также их оксидных соединений в качестве фотокатализаторов [1-3]. При этом основной целью любых способов модификации является изменение морфологии поверхности фотокатализатора, которая играет важную роль в гетерогенном катализе. Увеличение площади активной поверхности за счет изменения размеров зерен или дислокационной плотности способно создать дополнительные активационные центры способные участвовать в фотокаталитическом разложении. Одним из эффективных способов изменения морфологии поверхности является облучение низкоэнергетическими ионами с большими флюенсами. В этом случае малая энергия налетающих частиц и преобладание энергетических ядерных потерь при неупругих столкновениях приводит к образованию большого количества атомных смещений в малом приповерхностном слое толщиной не более 250-300 нм [4,5]. При этом большие флюенсы облучения ( $10^{14}$ - $10^{15}$  ион/см<sup>2</sup>) приводят к образованию эффекта перекрытия дефектных областей, что усиливает эффективность изменения морфологии приповерхностного слоя, при этом сама внутренняя основная часть фотокатализатора остается неизменной.

### Экспериментальная часть

Исходные образцы представляли собой  $WO_3$  микрочастицы производства компании Sigma Aldrich, с моноклинным типом кристаллической решетки, с пространственной сингонией P21/n(14).

Облучение низкоэнергетическими ионами гелия ( $He^{2+}$ ) с энергией 40 кэВ проводилось на ускорителе тяжелых ионов ДЦ-60 (г. Нур-Султан, Казахстан) с дозой облучения  $1 \times 10^{15}$  ион/см<sup>2</sup>.

Фотокаталитические свойства  $WO_3$  микрочастиц оценивались путем реакций разложения органического красителя Родамина В в воде под действием УФ-излучения. В качестве фотохимического реактора использовали бокс из боросиликатного стекла, погруженного в водяную баню для поддержания комнатной температуры в процессе обработки ксеноновой лампой. Временной интервал испытаний составил 300 минут с шагом в 30 минут.

### Результаты и обсуждение

Определение эффективности фотокаталитической реакции разложения Родамина В микрочастицами  $WO_3$  в исходном и модифицированном состоянии проводилось путем измерения УФ-спектров в области 400-700 нм и оценки изменения максимума поглощения при 554-556 нм характерного для Родамина В. Кривые фотокаталитической реакции разложения

строились на основе анализа концентраций изменения максимума поглощения с применением формулы (1):

$$Degradation\_efficiency = \left(1 - \frac{C_i}{C_0}\right), \quad (1)$$

где  $C_0$  и  $C_i$  - плотность поглощения до и после реакции.

На рисунке 1 представлены результаты изменения УФ-спектров поглощения Rhodamine В в зависимости от типов катализаторов, а также динамика изменения кривой фотокаталитической деградации Родамина В. В качестве примера представлены результаты изменения УФ спектра Родамина В без добавления катализатора, которые показали отсутствие каких-либо значимых изменений в интенсивности максимума при 554-556 нм. Для исходных микрочастиц снижение интенсивности максимума поглощения происходит поэтапно и после 300 минут испытаний не достигает минимального значения, в то время как для модифицированных микрочастиц обесцвечивание раствора наблюдается уже после 210 минут испытаний.

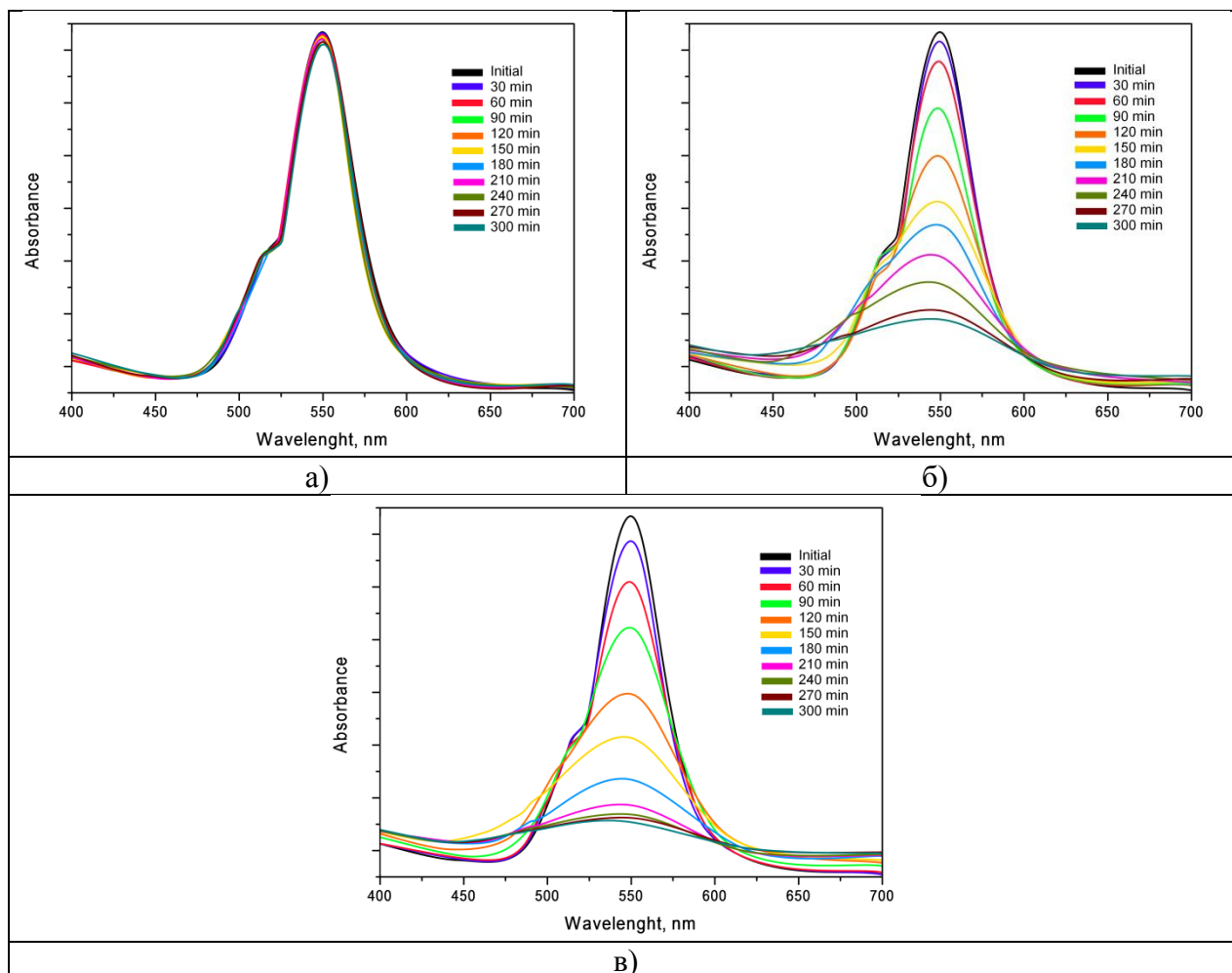


Рисунок 1- Динамика изменения UV-спектров поглощения Родамина В в зависимости от типов катализаторов: а) без катализатора; б) WO<sub>3</sub> микрокомпозиаты в исходном состоянии; в) WO<sub>3</sub> микрокомпозиаты после облучения

Согласно полученным данным, в случае исходных  $WO_3$  микрокомпозитов степень разложения Rhodamine B в течение 300 минут достигает не более 80 %, в то время как для модифицированных микрочастиц полное разложение Родамина В наблюдается уже после 210 минут испытаний. При этом константа скорости фотокаталитической реакции для модифицированных микрочастиц в 2.3-2.5 раза выше, чем для исходных микрочастиц (см. данные Рисунка 2). Такая разница в константах скоростей реакции и степени фотодеградации обусловлена изменением морфологических свойств приповерхностного слоя.

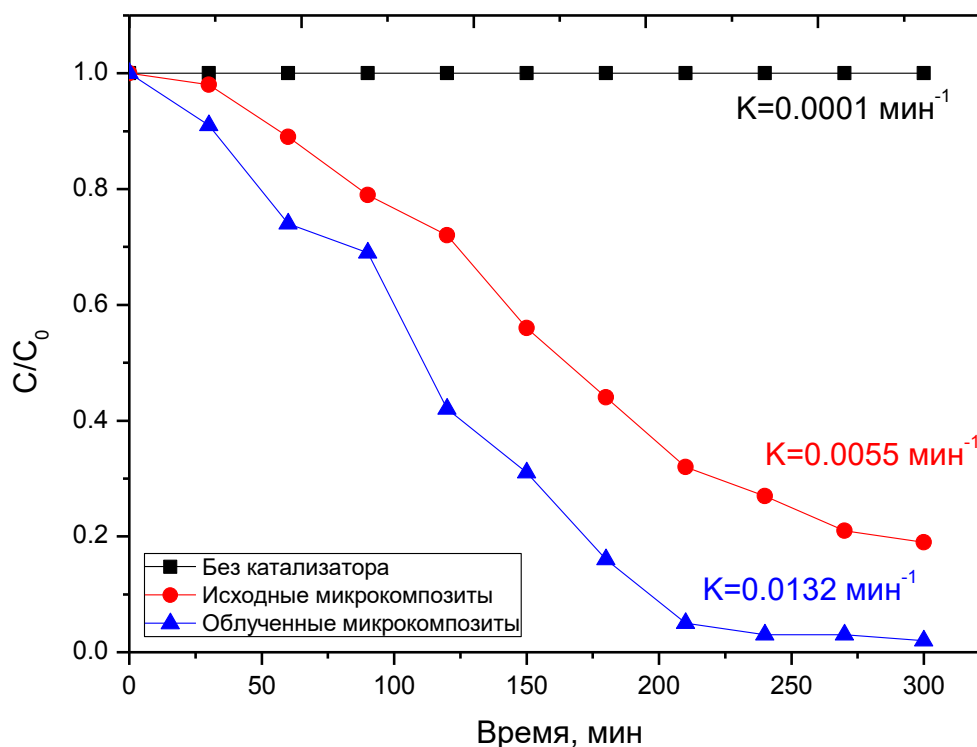


Рисунок 2 - Динамика изменения кривой фотокаталитической деградации Родамина В (изменение концентрации оценивалось путем оценки максимума поглощения при 554-556 нм)

При облучении большими дозами, наблюдается формирование каскадных дефектов, способных привести не только к смещению атомов из узлов решетки и положений равновесия, но и изменить электронную плотность, а также разорвать кристаллические и химические связи. В результате чего в приповерхностном слое наблюдается большое количество структурных искажений и дефектов, способных под действием УФ излучения отдать больше электронов, что приведет к ускорению фотокаталитических реакций разложения и распада Родамина В.

#### Заключение

В ходе проведения экспериментов с фотокаталитическими реакциями разложения Rhodamine B установлено, что применение облучения ионами гелия приводит к повышению не только скорости фотокаталитических реакций в 2.5 раза, но и степени минерализации с 22 % до 47 %.

#### Список использованных источников

1. Shahzad, Khurram, Muhammad Bilal Tahir, and M. Sagir. Engineering the performance of heterogeneous  $WO_3$ /fullerene@ Ni<sub>3</sub>B/Ni (OH)<sub>2</sub> Photocatalysts for Hydrogen Generation. // International Journal of Hydrogen Energy. – 2019. – Vol. 44.39. – P. 21738-21745.

2. Ashkarran, A. A., M. M. Ahadian, and SA Mahdavi Ardakani. Synthesis and photocatalytic activity of WO<sub>3</sub> nanoparticles prepared by the arc discharge method in deionized water. // *Nanotechnology*. – 2008. – Vol. 19.19. – P. 195709.
3. Adhikari, Sangeeta, et al. Understanding the morphological effects of WO<sub>3</sub> photocatalysts for the degradation of organic pollutants. *Advanced Powder Technology*. – 2018. – Vol.29.7. – P. 1591-1600.
4. Zdorovets, M. V., et al. Helium swelling in WO<sub>3</sub> microcomposites. // *Ceramics International*. – 2020. – Vol. 46(8). – P. 10521-10529.
5. Sánchez-Martínez, D., A. Martínez-De La Cruz, and E. López-Cuéllar. Synthesis of WO<sub>3</sub> nanoparticles by citric acid-assisted precipitation and evaluation of their photocatalytic properties. // *Materials Research Bulletin*. – 2013. – Vol. 48.2. – P. 691-697.