

На правах рукописи

Филиппов Тихон Николаевич

**Исследование уран-содержащих фотокатализаторов в
реакциях окисления паров органических веществ под
действием видимого света**

02.00.15 «Кинетика и катализ»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата химических наук

Новосибирск – 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки
Институте катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук.

Научный руководитель: доктор химических наук, профессор РАН
Козлов Денис Владимирович

Официальные оппоненты: Фахрутдинова Елена Данияровна,
кандидат химических наук, Сибирский
физико-технический институт имени академика
В.Д. Кузнецова Томского государственного
университета, младший научный сотрудник

Иванов Владимир Константинович, доктор
химических наук, чл.-корр. РАН, Институт общей
и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН,
директор

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт химической кинетики
и горения им. В.В. Воеводского СО РАН

Защита состоится "21" ноября 2018 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета
Д 003.012.01 в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте
катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук по адресу:
630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, д. 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального
государственного бюджетного учреждения науки Института катализа им. Г.К. Борескова
Сибирского отделения Российской академии наук, адрес сайта <http://www.catalysis.ru>.

Автореферат разослан

"3" сентября 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.х.н., доцент

А.А. Ведягин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Наибольшее распространение в процессах окислительного фотокатализа получил TiO_2 в кристаллической модификации анатаз благодаря высокой активности, химической стабильности и низкой стоимости. Однако TiO_2 проявляет фотокаталитическую активность только при воздействии света УФ области с длиной волны менее 390 нм. Доля такого света в солнечном спектре около 4%, в то время как видимого света более 40 %. Поэтому разработка фотокатализаторов, активных под действием света видимой области, является актуальной задачей, так как позволит более эффективно использовать энергию солнечного света.

В литературе опубликованы различные подходы к созданию таких фотокатализаторов, однако следует отметить, что на сегодняшний день нет фотокатализаторов, активность которых под действием видимого света была бы сравнима с активностью TiO_2 под действием УФ света. В тоже время из литературы известно о том, что соединения урана могут быть использованы в качестве фотокатализаторов, активных под действием света видимой области. Есть ряд работ, посвященных исследованию уранил-ионов в качестве фотокатализаторов, однако они посвящены процессам в гомогенных системах. Адсорбированный уранил-ион в качестве фотокатализатора существенно менее исследован, особенно в газофазных процессах.

Таким образом, **целью настоящей работы** были поставлены синтез и исследование свойств новых урансодержащих фотокатализаторов в процессах полного окисления паров органических веществ под действием видимого света. Для достижения поставленной цели в работе решались следующие **задачи**:

1. Синтез фотокатализаторов, представляющих собой соединения урана, в частности, оксиды урана и пористые носители, модифицированные уранил-ионами;

2. Исследование кинетики фотокаталитических процессов окисления паров органических веществ на урансодержащих образцах под действием видимого и УФ света;

3. Исследование физико-химических свойств и спектральных характеристик синтезированных фотокатализаторов;

4. Установление корреляций между физико-химическими свойствами образцов и их фотокаталитической активностью.

Научная новизна работы заключается в следующем:

Впервые систематически исследована фотокаталитическая активность соединений урана, в том числе оксидов, в процессах фотокаталитического окисления паров летучих органических веществ под действием видимого света. Подробно исследованы спектральные характеристики уранил-модифицированных фотокатализаторов. Рассмотрено влияние носителя на активность уранил-модифицированных фотокатализаторов. Исследования включают применение современных физико-химических методов, таких как: рентгеноспектральный флуоресцентный анализ; рентгенофазовый анализ; просвечивающая электронная спектроскопия; УФ-Вид спектроскопия; инфракрасная спектроскопия; инфракрасная спектроскопия комбинационного рассеяния; лазерный импульсный фотолиз; люминесцентный анализ; рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Впервые методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии *in situ* исследованы процессы, протекающие на поверхности фотокатализаторов непосредственно во время освещения видимым светом.

Результаты, полученные в ходе выполнения работы, являются **теоретически и практически значимыми**, т.к работа в целом посвящена актуальной проблеме – разработке фотокатализаторов, активных под действием видимого света. Получены новые экспериментальные данные о фотокаталитической активности оксидов урана. Определена величина квантового выхода возбужденного состояния уранил-иона в водных растворах. Обнаружен эффект влияния носителя на фотокаталитическую

активность уранил-модифицированных катализаторов. Предложен новый подход к исследованию фотопроцессов, происходящих на поверхности фотокатализаторов, с привлечением метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии *in situ*. Выявленные закономерности в перспективе могут быть использованы для разработки новых, усовершенствованных фотокатализаторов для использования в процессах окисления органических веществ под действием света видимой области.

Положения, выносимые на защиту:

1. Синтез соединений урана из нитрата уранила и их активность в процессе фотокаталитического окисления паров ацетона под действием видимого света;

2. Результаты фотокаталитического окисления паров летучих органических веществ на фотокатализаторах, представляющих собой оксидные носители, модифицированные уранил-ионами: активность, спектр действия, стабильность, влияние материала носителя;

3. Взаимосвязь между спектральными характеристиками уранил-модифицированных катализаторов и их фотокаталитической активностью в процессах окисления паров органических веществ.

Достоверность результатов проведенных исследований основывается на высоком методическом уровне проведения настоящей работы, применении современных физико-химических методов исследования, согласованности экспериментальных данных с данными других исследователей.

Личный вклад автора. Автор принимал участие в постановке задач и определении способов их решения, проводил анализ научной литературы, синтезировал катализаторы, проводил эксперименты по исследованию фотокаталитической активности катализаторов, обрабатывал результаты экспериментов. Принимал участие в проведении анализов катализаторов физико-химическими методами электронной спектроскопии в УФ и видимой областях, лазерного импульсного фотолиза, времяразрешенной

люминесценции и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Представлял результаты на научных конференциях и совместно с соавторами и научным руководителем готовил статьи для публикаций.

Апробация работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на: 50-ой юбилейной Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс» (Новосибирск, Россия 2012); 7 Европейской встрече «Фотохимия и фотокатализ: применения для защиты окружающей среды» (Порту, Португалия 2012); 3 Международном симпозиуме «Молекулярная фотоника», посвященном академику А. Н. Теренину (Санкт-Петербург 2012); XVII Международной экологической студенческой конференции «Экология России и сопредельных территорий» (Новосибирск 2012); 51-ой Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс» (Новосибирск, Россия 2013); XII Европейском конгрессе по катализу «Катализ: сбалансированное использование ископаемых и возобновляемых ресурсов» (Казань 2015); V Всероссийской научно-молодежной школе-конференции «Химия под знаком СИГМА: исследования, инновации, технологии» (Омск 2016); четвертом Германо-Российский семинаре «Преодоление разрыва между моделью и реальным катализом» (Клостэр-Банц, Германия 2016); IV конференции «Боресковские чтения», приуроченной к 110-летию со дня рождения академика Борескова (Новосибирск 2017); 5 Европейской конференции по применению передовых окислительных процессов (Прага, Чехия 2017).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 13 печатных работ, из которых 3 статьи в рецензируемых журналах и 10 тезисов докладов конференций.

Структура и объем диссертации. Работа изложена на 145 страницах, состоит из 5 глав и содержит 68 рисунков, 10 таблиц и 305 библиографических ссылок.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследования, сформулированы цели, описаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы. Также во введении представлены положения, выносимые на защиту, личный вклад автора, апробация работы, структура и объём диссертации.

Первая глава является обзором литературы и состоит из четырех разделов и заключения. В первом разделе рассмотрены механизмы физико-химических процессов, протекающих под действием света, а также вопросы современной терминологии в области фотокатализа. Во втором разделе рассмотрен принцип действия полупроводниковых фотокатализаторов на примере диоксида титана. Третий раздел посвящен фотокаталитическим процессам, протекающим под действием света видимой области. Рассмотрены основные классы фотокатализаторов активных под действием видимого света. Особое внимание уделено методам модификации TiO_2 , приводящим к появлению фотокаталитической активности под действием света видимой области. Четвертый раздел посвящен обзору литературных данных о применении соединений урана в фотокаталитических процессах.

Во второй главе представлена методическая часть работы. Глава состоит из четырех разделов. В первом разделе описаны химические реактивы и материалы, использованные для приготовления фотокатализаторов и проведения кинетических экспериментов. Во втором разделе описаны аналитические методы и приборы, использованные в работе. В третьем разделе приведено описание методик приготовления исследуемых в работе фотокатализаторов. Четвертый раздел посвящен описанию экспериментальных установок и методик проведения каталитических экспериментов.

Третья глава посвящена исследованию процесса фотокаталитического окисления паров ацетона на уран-содержащих катализаторах. Данная глава содержит два раздела и заключение. Первый раздел посвящен описанию результатов физико-химических методов исследования приготовленных

фотокатализаторов. Согласно полученным данным в результате проведенных синтетических работ были синтезированы оксиды UO_3 , U_3O_8 , UO_2 , $\text{Na}_2\text{U}_7\text{O}_{22}$, $\text{U}_3\text{O}_8 \times \text{H}_2\text{O}$ и образцы, содержащие уран в виде хемосорбированных на поверхности носителей (TiO_2 , SiO_2 , Al_2O_3) уранил-ионов.

Второй раздел посвящен определению фотокаталитической активности приготовленных уран-содержащих катализаторов в процессе окисления паров ацетона под действием видимого света в проточном реакторе. Полученные величины стационарных скоростей образования CO_2 в данном процессе представлены на **Рис. 1**.

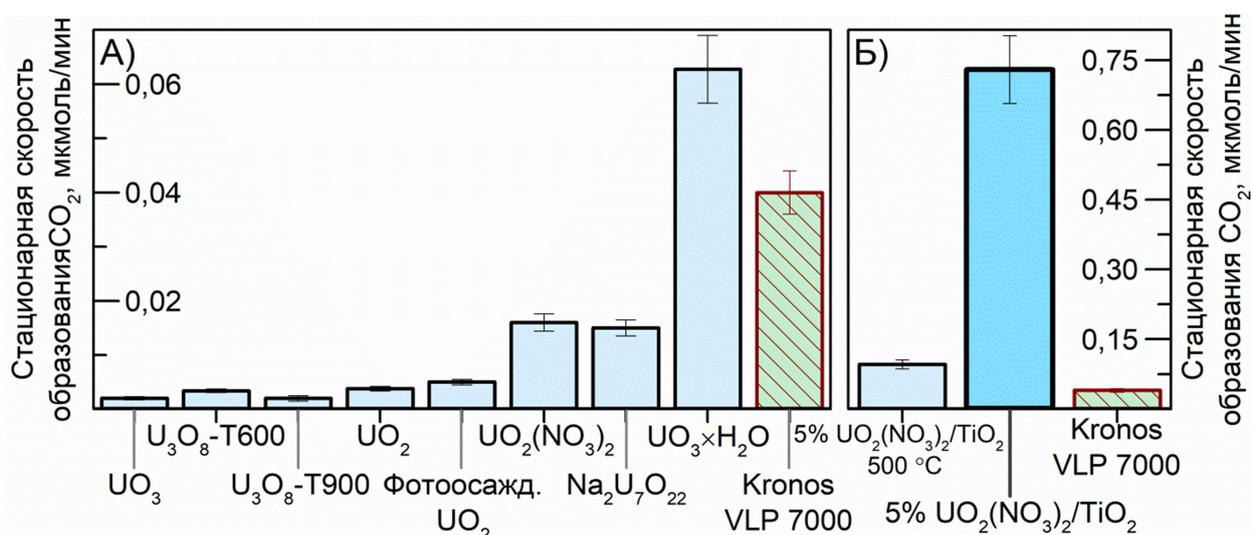


Рис. 1. Активность массивных катализаторов (А); активность нанесенных на TiO_2 катализаторов (Б)

В результате было показано, что все синтезированные в работе уран-содержащие катализаторы проявляют активность в процессе фотокаталитического окисления паров ацетона под действием видимого света ($\lambda > 420$ нм). Наибольшую активность среди всех фотокатализаторов проявил образец 5% $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2/\text{TiO}_2$. Его активность оказалась практически в 20 раз больше активности известного коммерческого фотокатализатора для видимого света – Kronos VLP 7000.

Четвертая глава посвящена исследованию фотокаталитической активности уранил-модифицированных катализаторов. Данная глава содержит четыре раздела и заключение. Первые три раздела посвящены исследованию системы, оказавшейся наиболее активной по результатам

исследований, представленных в предыдущей главе, а именно $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2/\text{TiO}_2$ в процессах фотокаталитического окисления паров этанола, ацетона, гексана и циклогексана. Было показано, что катализатор 5% $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2/\text{TiO}_2$ способен проводить полное фотокаталитическое окисление всех исследованных субстратов до CO_2 и воды. При окислении этанола в газовой фазе наблюдается образование продукта парциального окисления – ацетальдегида (**Рис. 2**). Было исследовано влияние количества нанесенного нитрата уранила

на величину активности в процессе фотокаталитического окисления паров этанола под действием видимого света. Активности сравнивали по начальной скорости образования ацетальдегида. Полученные результаты представлены в

Табл. 1. Из полученных данных хорошо видно, что с увеличением содержания урана растет и фотокаталитическая активность под действием света в видимой области. По данным спектров диффузного отражения для образцов $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2/\text{TiO}_2$ была проведена оценка количества поглощаемого видимого света. Полученные данные были сопоставлены с начальными

скоростями образования ацетальдегида. В результате была обнаружена линейная зависимость (**Рис. 3**). Аналогичные измерения были проведены и

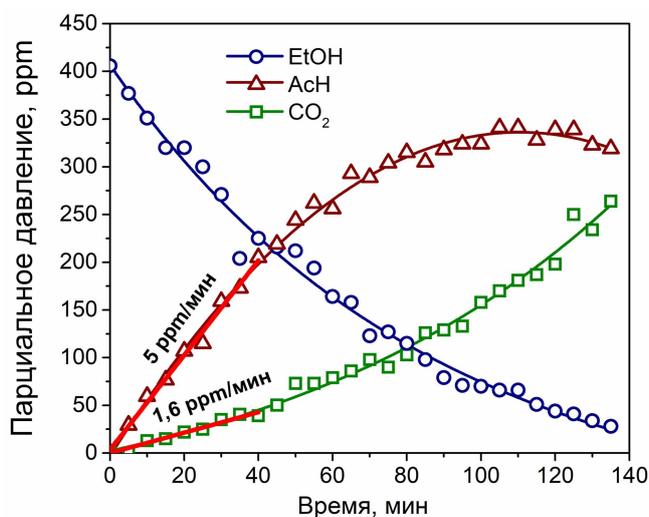


Рис. 2. Кинетические кривые окисления паров этанола в статическом реакторе под действием видимого света

Табл. 1. Активность катализаторов в реакции ФКО паров этанола под действием видимого света

Катализатор	Скорость накопления ацетальдегида ррт/мин
Kronos vlp 7000	0,37
0,2% $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2/\text{TiO}_2$	0,80
0,5% $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2/\text{TiO}_2$	1,6
2% $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2/\text{TiO}_2$	3,0
5% $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2/\text{TiO}_2$	5,0
10% $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2/\text{TiO}_2$	6,2

для образца сравнения – Kronos VLP 7000. Данный образец обладает интенсивным поглощением в видимой области спектра, однако, активность его относительно уран-содержащих катализаторов значительно ниже.

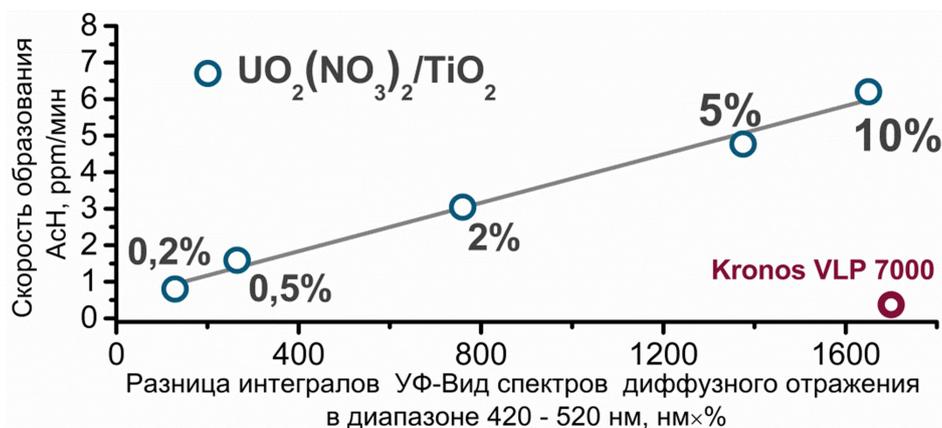


Рис. 3. Зависимость начальной скорости образования ацетальдегида от количества поглощаемого света для образцов уранил-модифицированного TiO₂ и Kronos VLP 7000

Для образца 5% UO₂(NO₃)₂/TiO₂ был измерен спектр действия в процессе фотокаталитического окисления паров этанола (Рис. 4). Было показано, что в спектре действия наблюдается два максимума, положение которых коррелирует с максимумами поглощения образца в спектре диффузного отражения. Катализатор проявляет активность в процессе фотокаталитического окисления паров этанола вплоть до длин волн

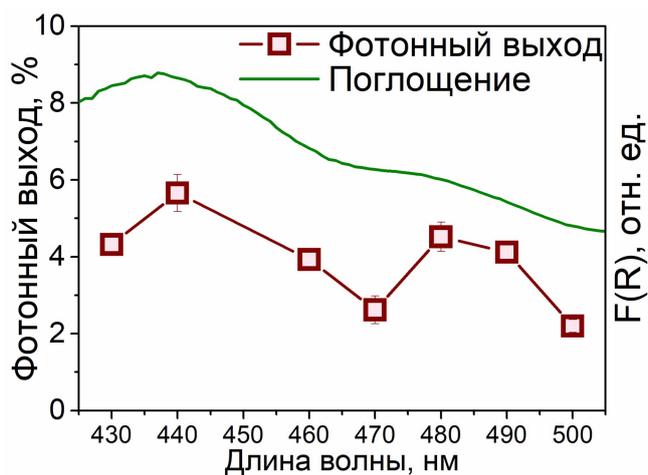


Рис. 4. Спектры действия и спектр диффузного отражения в координатах Кубелки-Мунка для образца 5% UO₂(NO₃)₂/TiO₂.

падающего света 500 нм, что соответствует зеленому цвету по цветовой шкале. Согласно рекомендациям ИЮПАК для данного образца была измерена величина фотонной эффективности окисления паров ацетона в проточной установке. Полученная величина составила 11,7%.

На примере процесса фотокаталитического окисления паров ацетона в статическом реакторе было

показано, что модификация диоксида титана нитратом уранила приводит к снижению его активности под действием УФ света. Так, в случае образца 5% $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2/\text{TiO}_2$ активность оказалась практически в три раза ниже относительно исходного немодифицированного TiO_2 . Было предположено, что такой эффект может быть связан либо с изменением адсорбционных характеристик, либо с участием уранил-ионов в процессах рекомбинации. Изотермы адсорбции паров ацетона на поверхности немодифицированного TiO_2 и образца 5% $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2/\text{TiO}_2$ были измерены для того, чтобы понять - как сильно изменяются адсорбционные характеристики в результате модификации. Изотермы были аппроксимированы одноцентровой

моделью адсорбции Лэнгмюра (Рис. 5). Согласно полученным данным, модификация поверхности диоксида титана нитратом уранила приводит к ухудшению адсорбционных характеристик, что вероятно является одним из факторов, приводящих к снижению активности катализатора 5% $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2/\text{TiO}_2$ относительно исходного TiO_2 под действием УФ света.

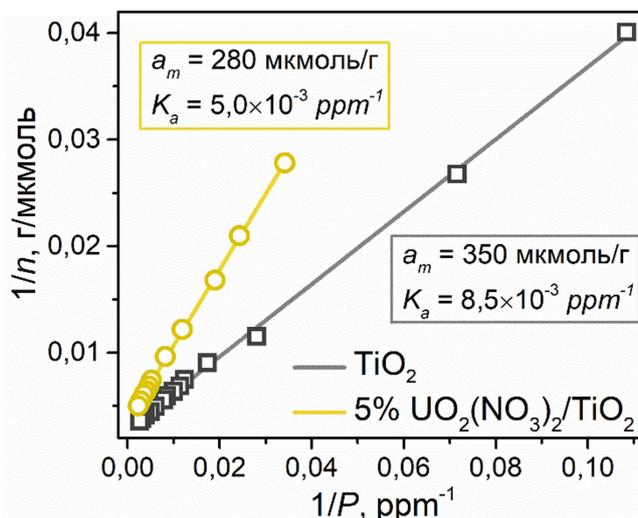


Рис. 5. Изотерма адсорбции паров ацетона на поверхности чистого TiO_2 и образца 5% $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2/\text{TiO}_2$ в координатах $1/n$ от $1/P$.

По результатам длительного эксперимента, в котором проводили фотокаталитическое окисление паров ацетона в проточном реакторе, была продемонстрирована высокая стабильность фотокатализатора 5% $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2/\text{TiO}_2$, а также подтверждена фотокаталитическая природа процесса. Так, за 68 часов эксперимента исходная активность снизилась всего на 20%. Обработка атмосферой воздуха в течение ночи без освещения приводит к частичному восстановлению исходной активности. Число

оборотов активных центров в ходе эксперимента значительно превосходит единицу как в предположении, что только уранил-ионы являются активными центрами ($TON_U = 1150$), так и в предположении, что поверхностные атомы титана также являются активными центрами ($TON_{Ti} = 50$).

В последнем разделе четвертой главы представлены результаты исследования влияния материала носителя на активность уранил-модифицированных катализаторов. Было обнаружено, что активность катализаторов 5% $UO_2(NO_3)_2/SiO_2$ и 5% $UO_2(NO_3)_2/Al_2O_3$ в процессах фотокаталитического окисления паров ацетона и этанола под действием света видимой области сравнима, а активность образца 5% $UO_2(NO_3)_2/TiO_2$ значительно выше (Рис. 6).

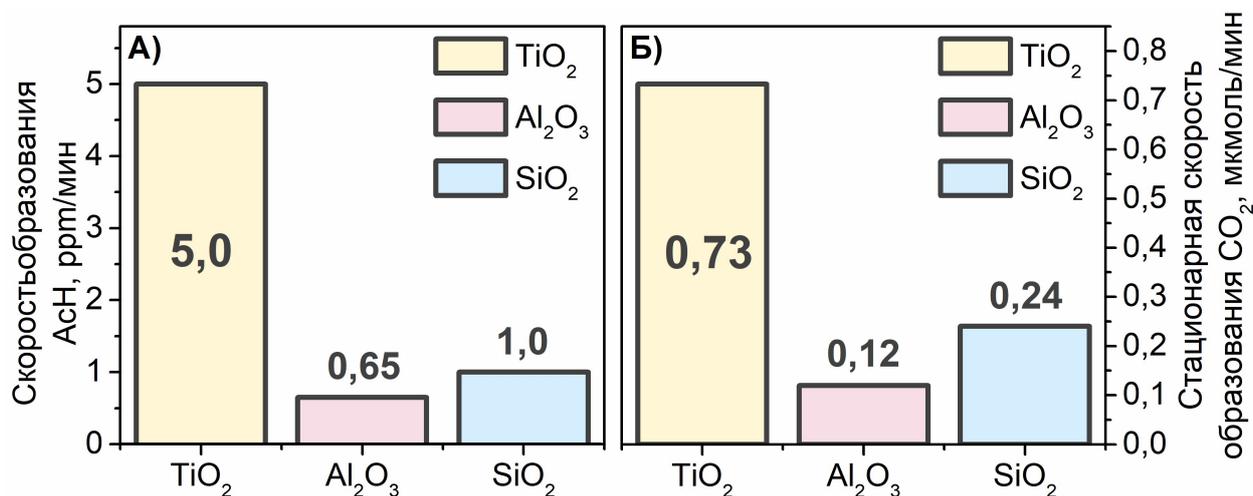


Рис. 6. Активности уранил-модифицированных фотокатализаторов в процессах окисления паров этанола в статическом реакторе (А) и ацетона в проточном реакторе (Б) под действием видимого света.

Пятая глава посвящена исследованию влияния природы материала носителя на фотокаталитическую активность уранил-содержащих катализаторов. Данная глава состоит из трех разделов и заключения. Первый раздел посвящен исследованию водных растворов нитрата уранила методом лазерного импульсного фотолиза и изучению влияния коллоидных частиц TiO_2 на процессы образования и гибели возбужденных состояний ионов уранила. Был получен ряд данных, в том числе значения квантовых выходов люминесценции уранил-ионов в водных растворах, которые составили $\phi_{\text{люм}}=0,01$ ($\lambda_{\text{возб}}=266$ нм; pH=3,4; $C(UO_2(NO_3)_2)=7,6 \times 10^{-4}$) и $\phi_{\text{люм}}=0,0012$

($\lambda_{\text{возб}}=355$ нм; pH=2,5; $C(\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2)=2,6 \times 10^{-2}$); экспериментальные кривые гибели возбужденного состояния ионов уранила в присутствии этанола и константы скорости тушения.

На основе полученных данных была предложена схема процесса фотокаталитического окисления этанола в водных растворах, протекающего через образование фотовозбужденных комплексов $(\text{UO}_2^{2+})_{\text{aq}}^*$ и $\text{UO}_2(\text{OH})_{\text{aq}}^{+*}$. Показано незначительное влияние коллоида TiO_2 на выход возбужденных состояний уранил-ионов и константу скорости реакции $(\text{UO}_2^{2+})_{\text{aq}}^*$ с этанолом.

Во втором разделе пятой главы показано, что происходит тушение люминесценции уранил-ионов на поверхности образца 5% $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2/\text{TiO}_2$ при возбуждении УФ светом, что объясняет снижение активности данного образца в процессах фотокаталитического окисления паров органических веществ под действием УФ света относительно немодифицированного TiO_2 (Рис. 7).

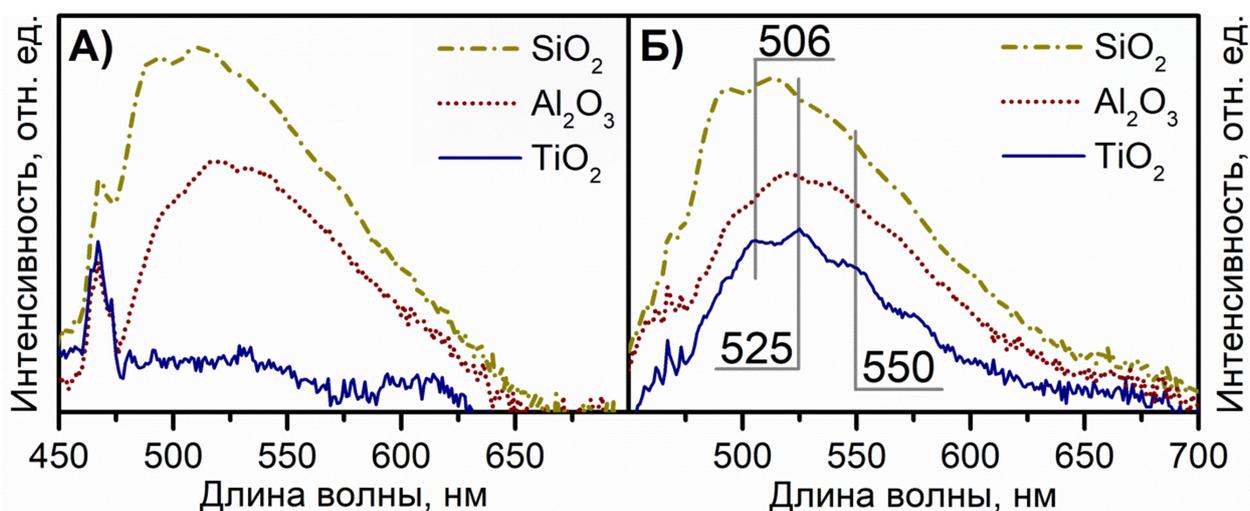


Рис. 7. Спектры люминесценции фотокатализаторов содержащих 5 масс.% нитрата уранила, на основе SiO_2 , Al_2O_3 и TiO_2 при возбуждении светом с $\lambda_{\text{возб}} = 320$ нм (А) и с $\lambda_{\text{возб}} = 430$ нм (Б).

Третий раздел пятой главы посвящен исследованию уранил-содержащих фотокатализаторов методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии *in situ* (Рис. 8) и было показано, что:

- При воздействии рентгеновского излучения или света видимой области происходит восстановление урана на уранил-модифицированных образцах;

- Глубина восстановления урана зависит от материала носителя. На диоксиде титана происходит восстановление урана до состояния U^{4+} , на оксидах кремния и алюминия до состояния U^{5+} ;
- Под воздействием молекулярного кислорода на восстановленные образцы фотокатализаторов во всех случаях наблюдается реокисление урана;
- Скорость и глубина протекания окислительно-восстановительных процессов для урана на диоксиде титана выше, чем на оксидах кремния и алюминия. Отношение скоростей восстановления урана, нормированных на один электрон, под действием видимого света на образцах на основе оксидов кремния и титана коррелирует с их активностями в процессе ФКО паров ацетона в проточном реакторе под действием видимого света.

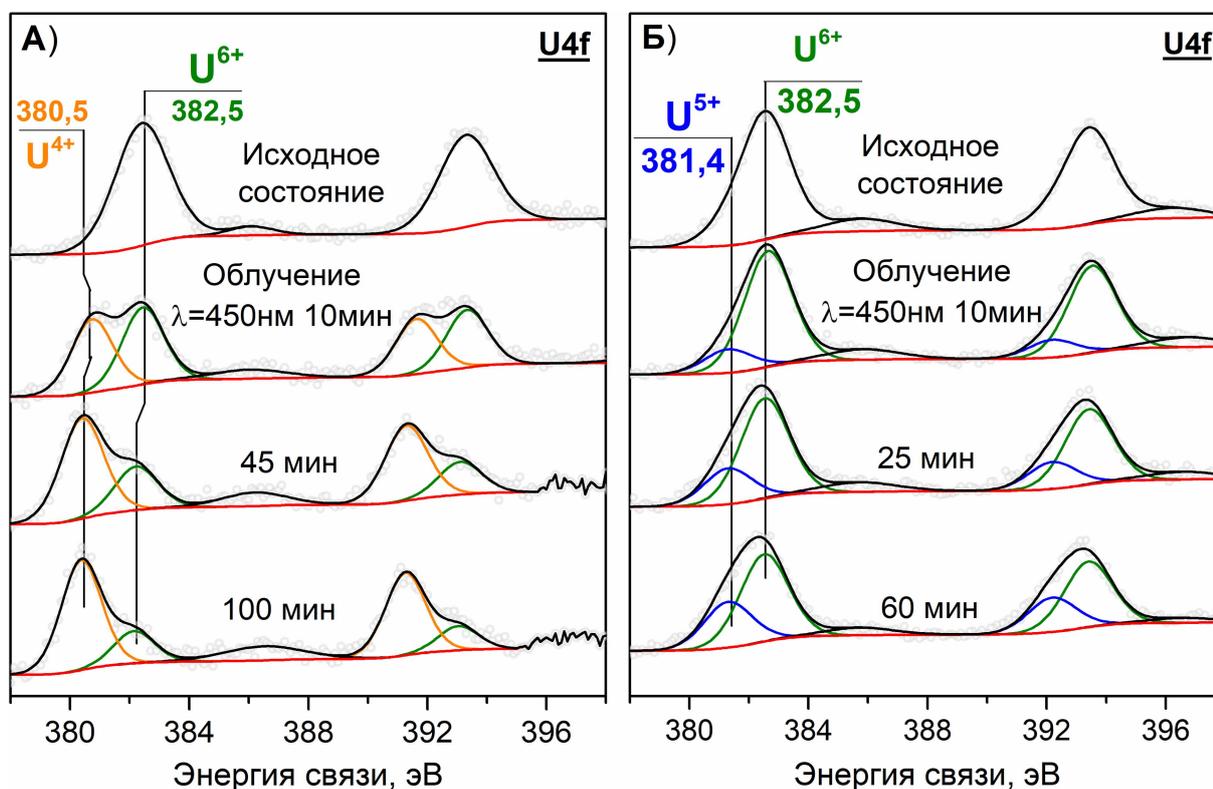


Рис. 8. *In situ* РФЭ-спектры области U4f для фотокатализаторов 5% $UO_2(NO_3)_2/TiO_2$ (А) и 5% $UO_2(NO_3)_2/SiO_2$ (Б) под излучением с $\lambda_{\text{макс}} = 450$ нм.

ВЫВОДЫ

1. Показано, что оксиды урана UO_3 , UO_2 , U_3O_8 , а также оксиды алюминия, кремния и титана, модифицированные нитратом уранила, обладают фотокаталитической активностью под действием видимого света в процессах полного и парциального окисления паров органических субстратов, таких как этанол, ацетон, гексан и циклогексан. Среди оксидов урана наибольшей активностью обладают соединения урана, в составе которых уран находится в виде $U(IV)$, синтезированные методом фотохимического восстановления в водно-спиртовом растворе.

2. Наиболее активным оказался фотокатализатор, представляющий собой диоксид титана анатазной модификации с нанесенным нитратом уранила $UO_2(NO_3)_2/TiO_2$, фотонная эффективность которого в реакции полного фотокаталитического окисления паров ацетона в проточном реакторе при низкой интенсивности света с длиной волны $\lambda = 450$ нм оказалась равна 11,7 %, что в 11 раз превосходит активность известных коммерческих фотокатализаторов.

3. Для фотокатализаторов состава $UO_2(NO_3)_2/TiO_2$ показано, что фотокаталитическая активность под действием видимого света линейно растет с увеличением количества абсорбируемого света в области 420-520 нм, что обусловлено количеством нанесенного нитрата уранила. Длительные эксперименты показали, что количество оборотов активных центров (TON) в пересчете на один атом урана или титана в десятки и сотни раз больше 1, что подтверждает фотокаталитический характер протекающих под действием видимого света процессов.

4. Продемонстрировано, что материал подложки сильно влияет на фотокаталитическую активность уранил-модифицированных катализаторов. В частности, активность фотокатализатора $UO_2(NO_3)_2/TiO_2$ более чем в 3,5 раза превосходит активность фотокатализаторов $UO_2(NO_3)_2/SiO_2$ и

$\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ в реакциях полного фотокаталитического окисления паров ацетона и этанола.

5. Методами лазерного импульсного фотолиза и времяразрешенной люминесценции исследованы закономерности гомогенных фотохимических процессов, протекающих в водно-спиртовых растворах, содержащих аквакомплексы уранила. Определен квантовый выход образования возбужденного состояния равный $0,35 \pm 0,08$. Предложена схема протекания процесса фотокаталитического окисления этанола в водных растворах, протекающая через образование фотовозбужденных комплексов $(\text{UO}_2^{2+})_{\text{aq}}^*$ и $\text{UO}_2(\text{OH})_{\text{aq}}^{+*}$.

6. Методом времяразрешенной люминесценции при исследовании гетерогенных уранил-модифицированных фотокатализаторов обнаружено тушение люминесценции на образцах $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2/\text{TiO}_2$ при возбуждении светом УФ диапазона. Это означает, что диоксид титана способен участвовать в тушении фотовозбужденных ионов уранила.

7. Методом РФЭС *in situ* показана высокая лабильность зарядовых состояний урана на поверхности $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2/\text{TiO}_2$, по сравнению с образцами $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2/\text{SiO}_2$ и $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Это объясняет высокую фотокаталитическую активность уранил модифицированного диоксида титана, так как при наличии органического субстрата на поверхности катализатора происходит быстрое восстановление фотовозбужденных соединений U(VI) до U(IV) путем переноса электронов с молекул субстрата, приводящего к окислению последнего. Обратное окисление U(IV) до U(VI) происходит при участии кислорода воздуха.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи:

1. Kolinko, P.A., Filippov, T.N., Kozlov, D.V., Parmon, V.N. Etanol Vapor Photocatalytic Oxidation with Uranyl Modified Titania Under Visible Light: Comparison with Silica and Alumina // *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. -2012. –V. 250. –N. 1. –P. 72-77.
2. Филиппов, Т.Н., Колинко, П.А., Козлов, Д.В., Глебов, Е.М., Гривин, В.П., Плюснин, В.Ф. Фотофизика и фотохимия ионов уранила в водных растворах: уточнение количественных характеристик // *Кинетика и катализ*. -2016. -Т. 57. –N. 2. -С. 197-205.
3. Filippov, T.N., Svintsitskiy, D.A., Chetyrin, I.A., Prosvirin, I.P., Selishchev, D.S., Kozlov, D.V. Photocatalytic and Photochemical Processes on the Surface of Uranyl-Modified Oxides: An in situ XPS Study // *Applied Catalysis A: General*. -2018. –V. 558. -P. 81-90.

Тезисы конференций:

1. Филиппов, Т.Н. Синтез и исследование фотокаталитической активности диоксида титана, промотированного нитратом уранила, в УФ и видимой областях спектра // Сборник 50-ой юбилейной Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс» (МНСК-2012). –Новосибирск (Россия), 13-19 апреля 2012. -С. 32.
2. Kolinko P.A., Filippov T.N., Kozlov D.V. Influence on Supported the Content of Uranyl Nitrate on the Photocatalytic Activity by the Visible Light // 7th European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications (SPEA7). –Porto (Portugal), 17-20 June 2012. – P. 56.
3. Filippov T.N., Kolinko P.A., Kozlov D.V. Ethanol Vapor Photocatalytic Oxidation with Uranyl Modified Silica, Alumina and Titania under Visible Light // The 3rd International Symposium «Molecular Photonics» dedicated to academician A.N. Terenin. -St.Petersburg (Russia), 24-29 June. –P. 42.

4. Филиппов Т.Н. Синтез и исследование фотокаталитической активности диоксида титана, промотированного нитратом уранила, в УФ и видимой областях спектра. // XVII Международная экологическая студенческая конференция «Экология России и сопредельных территорий» (МЭСК–2012), -Новосибирск (Россия), 2012. -С. 83.
5. Филиппов Т.Н. Фотокаталитическое окисление паров этанола на урановых катализаторах в ультрафиолетовой и видимой областях спектра. // 51-я Международная научная студенческая конференция «Студент и научно-технический прогресс» (МНСК-2013). –Новосибирск (Россия), 12-18 апреля 2013. -С. 28.
6. Filippov T., Kolinko P., Glebov E., Kozlov D. Photocatalytic Activity of the Uranyl Modified Titania, Silica and Alumina under Visible Light Irradiation // EuropaCat XII. Catalysis: Balancing the use of fossil and renewable resources. XII European Congress on Catalysis. -Kazan (Russia), 30th Aug. - 4th Sept. 2015. -P. 1657-1658.
7. Филиппов Т.Н., Колинко П.А., Козлов Д.В., Глебов Е.М. Фотокаталитическая активность катализаторов на основе оксидов титана, кремния и алюминия, модифицированных нитратом уранила в ультрафиолетовой и видимой областях спектра // Химия под знаком СИГМА: исследования, инновации, технологии: Тезисы докладов V Всероссийской научной молодежной школы-конференции. – Омск (Россия), 15-20 мая 2016, - С. 155.
8. Filippov T.N., Kolinko P.A., Kozlov D.V. Photocatalytic Oxidation of VOC's over Uranyl Modified Catalysts under UV and Visible Light // Fourth German-Russian Seminar «Bridging the Gap between Model and Real Catalysis». - Kloster Banz (Germany), 05-07 Sep 2016.
9. Filippov T.N., Kolinko P.A., Prosvirin I.P., Kozlov D.V. Activity of the Heterogeneous Uranyl Modified Catalysts in the Gas-Phase Photooxidation Reactions // IV Scientific Conference dedicated to the 110th anniversary of

Academician Georgii K. Boreskov. -Novosibirsk (Russia), 19-21 April 2017. -P. 107

10. Filippov T.N., Kolinko P.A., Kozlov D.V. Photocatalytic Oxidation of Organic Compounds over Uranyl Modified Oxides under Visible Light // Book of abstracts of 5th European conference on environmental applications of advanced oxidation processes (EAAOP5). –Prague (Czech Republic), 25-29 June 2017. -P. 87

ФИЛИППОВ Тихон Николаевич

ИССЛЕДОВАНИЕ УРАН-СОДЕРЖАЩИХ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ В РЕАКЦИЯХ ОКИСЛЕНИЯ ПАРОВ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВИДИМОГО СВЕТА.

Автореф. дисс. на соискание учёной степени кандидата химических наук.

Подписано в печать 30.08.2018. Заказ № 43. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 1.

Тираж 100 экз.

Отпечатано на полиграфическом участке Института катализа СО РАН
630090, Новосибирск, пр-т Академика Лаврентьева, 5