

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Иванина Игоря Андреевича на тему: «Металл-модифицированные цеолиты в полном и селективном окислении монооксида углерода», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.14 – Кинетика и катализ

В настоящее время все большее внимание уделяется развитию природоохранных технологий, направленных на улучшение качества воздуха, очистку от примесей углеводородов и CO. Создание высокоэффективных катализаторов без добавок благородных металлов позволит в значительной мере упростить внедрение таких систем в реальном секторе экономики для повышения качества жизни. Не меньший интерес вызывает также разработка новых катализаторов для реализации процесса селективного окисления примесей монооксида углерода в водородсодержащих газах, применяемых для очистки сырья в топливных элементах. Работа Иванина И.А. направлена на разработку катализаторов полного (TOX) и селективного в присутствии H<sub>2</sub> (PROX) окисления CO на основе цеолитов, модифицированных переходными металлами, и установление взаимосвязи между их строением, природой активных центров и каталитическими характеристиками.

Автором впервые установлено, что катализаторы на основе цеолита ZSM-5, модифицированные оксидами церия и кобальта, проявляют высокую активность в окислении CO, благодаря формированию смешанных кобальт-цериевых структур оксокатионной природы в каналах цеолита. Показано, что при оптимальном атомном соотношении Co/Ce = 3 формируется наибольшее количество таких структур, что приводит к максимуму каталитической активности как в полном, так и в селективном окислении CO в присутствии водорода.

Вторая серия катализаторов, приготовленная и исследованная в работе соискателя, представляет собой цеолиты, модифицированные добавками меди и оксида церия. Впервые показано, что синергический эффект в биметаллических катализаторах на основе цеолита, модифицированного медью и церием в оксидной форме, может быть связан не только с взаимодействием ионов Cu<sup>+</sup> и оксида церия, но и с формированием совместных оксидных медь-цериевых структур в каналах цеолита. Катализаторы, исследованные в работе, являются перспективными для селективного окисления CO в присутствии водорода (конверсия CO >99% при температурах 150 – 190 °C).

Результаты, полученные в работе, имеют практическую значимость для разработки высокоэффективных катализаторов на основе цеолитов для природоохранных технологий и для применения в процессе селективного окисления CO.

Некоторые вопросы и замечания:

1. При какой температуре проводили адсорбцию CO для исследований методом ИКС ДО?
2. Автор считает, что синтезированные биметаллические (неудачный термин в отношении нанесенных оксидных систем) образцы более активны по сравнению с монометаллическими, однако содержание активного компонента в пересчете на нанесенный металл в монометаллических образцах составляет 1,6-2 % мас, что как минимум в 2 раза меньше общего содержания металлов в биметаллических образцах. Для определения синергизма действия металлов следовало бы сохранить общее количество нанесенных металлов в монометаллических и биметаллических образцах для корректного сравнения, либо отнести активность на мольное содержание нанесенных металлов в би- и монометаллических образцах.
3. При нанесении активного компонента из кислых растворов возможно вымывание алюминиевых центров из цеолитного каркаса с переосаждением в полость. Как отслеживали структуру цеолита до и после введения активного компонента? Проводился ли анализ распределения алюминия в каркасе и в полостях цеолита для приготовленного катализатора методом ЯМР, например?

4. В работе синтезировано 2 серии оксидных CoCe и CuCe катализаторов на основе цеолита ZSM-5. Проводилось ли сравнение активности этих систем между собой (в выводах не представлено), а также сравнивались ли данные по активности приготовленных образцов с результатами для подобных катализаторов, опубликованных в литературе?
5. Автор неоднократно упоминает в автореферате использование процедуры вычитания ИК спектров нанесенных монометаллических образцов из ИК-спектров биметаллических систем. Принимая во внимание тот факт, что ИК спектры были получены в режиме ДО, процедура вычитания может приводить к появлению некорректных результатов, поскольку количественная оценка ИК ДО спектров невозможна. Все же корректность процедуры вычитания гораздо большая, если использовать режим пропускания при получении ИК-спектров.

Сделанные замечания носят частный характер и не снижают общего впечатления от работы.

Результаты, полученные в работе, опубликованы в 4-х статьях (общим объемом 6 условных печатных листов) в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science, Scopus, RSCI. Проведенные исследования (по своей актуальности, научной новизне, объему и практической значимости полученных результатов) соответствуют критериям, определенным в п.п. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова.

Считаю, что соискатель Иванин Игорь Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.14 – «кинетика и катализ».

Зав. кафедрой физической и коллоидной химии,  
химический факультет, ФГАОУ ВО  
«Национальный исследовательский Томский  
государственный университет»,  
доктор химических наук, профессор

**Водянкина Ольга Владимировна**

«13» 05 2024 г.

**Контактные данные:**

тел.:

**Адрес места работы:**

634050 Томск, проспект Ленина, 36

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», химический факультет

Тел./факс (382-2) 423944, e-mail: [dekanat@chem.tsu.ru](mailto:dekanat@chem.tsu.ru)

**Подпись Водянкиной О.В. удостоверяю,**

Ученый секретарь ТГУ,

К.Г.-М.Н.

Сазонтова Наталья Анатольевна

«13» 05 2024 г.