

## ОТЗЫВ

на автореферат **Иванна Игоря Андреевича** «Металл-модифицированные цеолиты в полном и селективном окислении монооксида углерода», представленный на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности **1.4.14 - «Кинетика и катализ»**.

Каталитическое окисление монооксида углерода (СО) имеет важное практическое значение для процессов очистки газовых выбросов промышленности и автотранспорта. Не мало важной задачей является исследование процесса селективного окисления СО в потоке водорода (PROX-процесс), представляет интерес для разработки топливных элементов. Необходимо также отметить, что реакция окисления СО является модельным процессом, позволяющим осуществить характеризацию катализаторов, исследовать природу активных центров и изучить механизм каталитической реакции. Рассматриваемая диссертационная работа посвящена исследованию возможности применения металл-модифицированных цеолитов в качестве катализаторов полного и селективного окисления монооксида углерода в присутствии водорода, а также установление взаимосвязи между строением, природой активных центров и каталитической активностью.

Объектами исследования являлись каталитические системы на основе цеолитов ZSM-5 с различным содержанием алюминия ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 30, 55, 80$ ) и Бета ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 38$ ), модифицированных переходными металлами (Co-Ce, Cu-Ce), предметом исследования – каталитические характеристики синтезированных металл-модифицированных цеолитов в реакциях полного и селективного окисления СО в присутствии водорода.

Научная новизна работы заключается в следующем. Впервые установлено наличие высокой активности катализаторов на основе цеолита ZSM-5, модифицированных церием и кобальтом, в реакции окисления СО. Показано, что эффект синергизма Ce и Co биметаллических катализаторов на основе ZSM-5 обусловлен формированием в каналах цеолита смешанных кобальт-цериевых структур оксокатионной природы. Наибольшее количество таких структур формируется при атомном соотношении Co/Ce = 3, что способствует проявлению максимальной каталитической активности в реакциях полного и селективного окисления СО в присутствии водорода. Установлено, что отношение  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  в каркасе цеолита для катализаторов на основе кобальт-церий-модифицированных цеолитов ZSM-5 селективного окисления СО в

присутствии водорода играет двойную роль: повышенное содержание алюминия способствует большей концентрации оксокатионных центров и увеличению содержания изолированных ионов кобальта, что приводит к снижению селективности процесса. Впервые показано, что синергетический эффект в биметаллических катализаторах на основе цеолита, модифицированного медью и церием, может быть обусловлен не только протекающим взаимодействием ионов  $\text{Cu}^+$  и оксида церия, но и формированием совместных медь-цериевых структур в каналах цеолита. Также впервые установлено влияние структурного типа цеолита на активность медь-церий-модифицированных цеолитов в реакции окисления  $\text{CO}$ . Показано, что различие в закономерностях влияния соотношения введенных металлов и алюминия в цеолитах на каталитические характеристики  $\text{Co/Ce/ZSM-5}$  и  $\text{Cu/Ce/ZSM-5}$  обусловлено различной природой ключевых активных центров.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов представляет интерес для разработки новых катализаторов на основе цеолитов, а также для интерпретации данных, полученных при исследовании вышеуказанных каталитических систем различными физико-химическими методами.

Достоверность результатов подтверждена исследованиями, проведенными с привлечением комплекса физико-химических методов исследования: просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС), газовой хроматографии, ИК-спектроскопия диффузного отражения адсорбированного  $\text{CO}$ , термопрограммируемое восстановление (ТПВ), электронная спектроскопия диффузионного отражения (ЭС ДО).

По результатам работы диссертантом опубликовано 4 статей в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science, Scopus, RSCI и рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.4.14 – «Кинетика и катализ». Работа прошла апробацию на различных международных и всероссийских конференциях.

В качестве замечания можно привести следующее:

- В тексте автореферата отсутствуют данные о текстурных характеристиках исследованных катализаторов.
- Почему предварительное введение церия в биметаллических образцах приводит к росту поверхностного содержания меди по сравнению с монометаллическими.

Приведенные замечания не снижают ценности рассматриваемой работы и может считаться как рекомендация для проведения дальнейших исследований.

Считаю, что диссертационная работа Иванниа И.А. по своей актуальности, научной новизне, объему и практической значимости полученных результатов соответствует критериям, определенным пп. 2.1-2.5 «Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова», а автор работы достоин присуждения ученой степени кандидата наук по специальности 1.4.14 - «Кинетика и катализ».

Либерман Елена Юрьевна  
Доктор химических наук, профессор  
Кафедры технологии неорганических веществ  
и электрохимических процессов  
ФГБОУ ВО «РХТУ им. Д.И. Менделеева»

07 мая 2024 г.

\_\_\_\_\_/ Либерман Е.Ю./

Почтовый адрес: 125047, Москва, Миусская пл., д.9

Тел.: +79

Сайт: <http://www.muctr.ru>,

e-mail: [liberman.e.i@muctr.ru](mailto:liberman.e.i@muctr.ru)

Личную подпись Либерман Е.Ю. заверяю

Ученый секретарь  
ФГБОУ ВО «РХТУ им. Д.И. Менделеева»  
д.т.н., профессор

Макаров Н.А.