

УДК 54.128.13:541.124:542.943.7:546.262.3-31:546.92'284

Т. Л. Ракитская¹, Т. А. Киосе^{1,2}, А. А. Эннан², А. М. Джига¹, В. Я. Волкова¹,
К. О. Голубчик^{1,2}

¹Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова, кафедра неорганической химии и химической экологии,

ул. Дворянская, 2, Одесса, 65082. E-mail: tlr@onu.edu.ua

²Физико-химический институт защиты окружающей среды и человека
ул. Преображенская, 3, Одесса, 65082

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ОКИСЛЕНИЯ МОНООКСИДА УГЛЕРОДА РЕСПИРАТОРНОГО НАЗНАЧЕНИЯ. III. НАНЕСЕННЫЕ МЕТАЛЛОКОМПЛЕКСНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ

Проанализированы оригинальные, опубликованные в 2006-2012 годах работы в области разработки катализаторов низкотемпературного (не выше 100 °С) окисления монооксида углерода. Серия статей включает в себя информацию о металлических, оксидных и оксидно-металлических, а также нанесенных металлокомплексных катализаторах (настоящая статья). Проведено сравнение лучших зарубежных и отечественных катализаторов окисления монооксида углерода.

Ключевые слова: монооксид углерода, низкотемпературное окисление, нанесенные металлокомплексные катализаторы.

Состав и активность нанесенных металлокомплексных катализаторов окисления монооксида углерода

За последние пять лет доля публикаций, касающихся разработки нанесенных металлокомплексных катализаторов (табл. 1), меньше, чем в случае металлических, оксидных и оксидно-металлических катализаторов. Как правило, в своем составе такие катализаторы содержат соли палладия(II) и меди(II) (табл. 1) [1-5] и только один состав [1] дополнен нитратом железа(III).

Как в новых работах, так и в предыдущих [6-16] изменение каталитической активности Pd(II)-Cu(II)-комплексов осуществляется, главным образом, за счет варьирования природы прекурсоров палладия и меди, а также природы носителя. Метод нанесения компонентов – импрегнирование по влагоемкости водным раствором соответствующих солей с последующей сушкой при температуре не выше 100 °С. Наиболее часто употребляемыми носителями являются носители Al₂O₃ и АУ, а в последнее время углеродные материалы марок «Карбопон» и «Бусофит», характеризующиеся развитой удельной поверхностью [1]. Однако применение этих носителей и дополнительное введение в состав катализатора дополнительно железа(III) дает низкую степень превращения СО, а именно 57 и 28 %, что при эффективном времени контакта $\tau' = 0,36$ с и $C_{CO}^H = 375$ мг/м³, соответствует конечной концентрации СО, равной 161 и 270 мг/м³, т.е. намного выше ПДК рабочей зоны (табл.1).

Катализатор Pd(II)-Cu(II)-Fe(III)/АУ [1] (табл.1) при $\tau' = 3,21$ с, $C_{CO}^H = 6250$ мг/м³ и температуре 20 °С не обеспечивает очистки воздуха до ПДК – на выходе

Таблица 1
Катализаторы окисления CO, содержащие металлокомплексные соединения

Состав катализатора	Характеристика носителя	$m_{сн}$, г	$C_{сн}$, мг/м ³	ω , ч ⁻¹ или $w_{мл}$, мл/г·ч	τ , с	Степень окисления CO, (η , %)	Температура эксплуатации (Т, °С)	Время стабильной работы, ч	Лит. источник
Pd(II)-Cu(II)-Fe(III)/УМ УМ=АУ 0,35 масс. % Pd 5,25 масс. % Cu 0,28 масс. % Fe	УМ=АУ (зернистый) $S_{\text{уд}}=950 \text{ м}^2/\text{г}$ $d_3=1-2 \text{ мм}$	2,5	6250	$\omega = 1120$	3,21	98	20	2,5	[1]
УМ = Карбон; Бусофит 1,25 масс. % Pd 6,25 масс. % Cu 0,50 масс. % Fe	УМ = Карбон $S_{\text{уд}} = 780 \text{ м}^2/\text{г}$ $d_3=5-10 \text{ мкм}$ УМ = Бусофит $S_{\text{уд}} = 670 \text{ м}^2/\text{г}$ $d_3=5-10 \text{ мкм}$	1,0 1,0	375 375	$\omega = 10000$ $\omega = 10000$	0,36 0,36	57 28	20 20	- -	[1]
PdCl ₂ -CuCl ₂ /Al ₂ O ₃ 1,7 масс. % Pd 3,3 масс. % Cu Импрегнирование носителя водным раствором	$d_3=0,25-0,42 \text{ мм}$	0,2	1875	$w_{\text{уд}} = 15000$	-	100	0	-	[2,3]
Импрегнирование носителя спиртовым раствором				$w_{\text{уд}} = 15000$		100	-10	30 (при 25 °С)	
PdCl ₂ -CuCl ₂ /Al ₂ O ₃ 1,7 масс. % Pd 3,3 масс. % Cu Метод импрегнирования спиртовым раствором (изопропанолом)		0,2	1875	мл/г·ч	-	100 100	60 25	30 5	[4]
PdCl ₂ -CuCl ₂ /АУ 1,7 масс. % Pd 6,5 масс. % Cu Метод импрегнирования водным раствором	АУ $S_{\text{уд}} = 953 \text{ м}^2/\text{г}$ $S_{\text{уд}} \text{ АУ (400)}$ $S_{\text{уд}} = 1012 \text{ м}^2/\text{г}$ $S_{\text{уд}} \text{ АУ (H}_2\text{O)}$ $S_{\text{уд}} = 1153 \text{ м}^2/\text{г}$ $S_{\text{уд}} \text{ АУ (H}_3\text{PO}_4)$ $S_{\text{уд}} = 1016 \text{ м}^2/\text{г}$	-	1875	$\omega = 24000$	0,15	45 58 76 65			[5]

125 мг/м³. Другой пример [5] также демонстрирует низкую степень превращения СО в присутствии катализатора PdCl₂-CuCl₂/AY – всего 45 %; после прокаливания носителя при 400 °С, обработки пероксидом водорода или фосфорной кислотой активность катализаторов возрастает, но конечная концентрация остается достаточно высокой (табл. 1.4 [5]).

Авторы [2-4] предложили новый метод нанесения Pd(II) и Cu(II), суть которого состоит в переводе компонентов катализатора в аммиачные комплексы, которые методом импрегнирования из водного или органического растворителя наносят на носитель Al₂O₃, сушат на воздухе, а затем прокаливают при 300 °С в течение 2 часов. Метод получил название «NH₃ coordination-impregnation» (аббревиатура CI) – в нашем переводе «импрегнирование через стадию NH₃-координации». Полученные катализаторы (табл. 1 [2-4]) обеспечивают 100%-ную очистку воздуха в области температур от 0 до -30 °С. При этом, чем меньше C_{CO}^H, тем при более отрицательной температуре η = 100 %.

Результаты наших исследований за последние годы в области создания нанесенных палладий-медных катализаторов низкотемпературного окисления СО [17-26] обобщены в табл. 2. Во всех случаях катализатор включает одни и те же компоненты K₂PdCl₄, Cu(NO₃)₂ и KBr, нанесенные методом импрегнирования по влагоемкости на природные материалы различного минералогического, фазового и химического состава [21, 24, 25, 27, 28].

В качестве природных материалов используются базальтовый туф (БТ); цеолиты – клиноптилолит (П-Кл) и морденит (П-Морд); бентониты различных месторождений: Дашуковского (П-Бент(Д)) и Горбского (П-Бент(Г)); трепел из двух месторождений: Коноплянского (П-Тр(К)) и Могилев-Подольского (П-Тр(М-П)). Природные материалы активировали кислотно-термальным методом, используя 3М (БТ, Кл, Морд) или 1М (Бент, Тр) HNO₃, образцы кипятили в течение 6 (БТ, Кл, Морд) или 1 (Бент, Тр) часа. В табл. 2 в качестве критерия активности катализатора использовали степень окисления СО в стационарном режиме – параметр η не зависит от времени реакции.

Кроме того, приводится значение C_{CO}^K в стационарном режиме, для сравнения со значением ПДК_{CO}=20 мг/м³ для рабочей зоны. Видно, что только катализатор, полученный с применением П-Тр(К), обеспечивает очистку воздуха от СО ниже ПДК в стационарном режиме (C_{CO}^K = 14 мг/м³). После кислотно-термального активирования носителя (Н-Тр(К)-1) степень окисления СО возрастает до 98% (C_{CO}^K = 5,0 мг/м³). Обращает на себя внимание существенное влияние происхождения бентонита на активность Pd(II)-Cu(II)-катализаторов. При этом катализатор на основе Бент(Д), даже с применением кислотно-модифицированного носителя (Н-Бент(Д)-1), менее активен (η = 84 %), чем катализатор на основе П-Бент(Г) (η = 87 %). Взаимосвязь между физико-химическими свойствами указанных бентонитов и каталитической активностью Pd(II)-Cu(II)-катализаторов обсуждена в работе [25].

Кислотное модифицирование базальтового туфа привело к существенному увеличению активности катализатора Pd(II)-Cu(II)/Н-БТ(1)-6. В то же время катализаторы с использованием носителей Н-Кл-6 и Н-Морд-6, даже при большем содержании палладия(II) и меди(II), обеспечивают низкую степень окисления СО – 53 и 40 %, соответственно.

Таким образом, показано, что активность Pd(II)-Cu(II)-катализаторов окисления СО существенно зависит от природы носителей, что обусловлено различием

Таблица 2
Нанесенные на природные и модифицированные материалы Pd(II)-Cu(II)-катализаторы
низкотемпературного окисления монооксида углерода
 $m_k = 10 \text{ г}$; $C_{CO}^H = 300 \text{ мг/м}^3$; $w = 1 \text{ л/мин}$; $w_{уд} = 6000 \text{ мл/г}\cdot\text{ч}$; $U = 4,2 \text{ см/с}$; $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Состав катализатора*	Носитель	В стационарном режиме		Лит. источник
		C_{CO}^K , мг/м ³	η , %	
$K_2PdCl_4-Cu(NO_3)_2/П-БТ$ $K_2PdCl_4-Cu(NO_3)_2/Н-БТ-6$ $C_{Pd(II)} = 1,36 \cdot 10^{-5}$, $C_{Cu(II)} = 2,9 \cdot 10^{-5}$ (моль/г)	П-БТ – природный базальтовый туф Н-БТ-6 – базальтовый туф, модифицированный 3М HNO_3 при 100 °С в течение 6 часов	230	23	[17-20]
		20	93,3	
$K_2PdCl_4-Cu(NO_3)_2/П-Кл$ $K_2PdCl_4-Cu(NO_3)_2/Н-Кл-6$ $C_{Pd(II)} = 1,36 \cdot 10^{-5}$, $C_{Cu(II)} = 2,9 \cdot 10^{-5}$ (моль/г)	П-Кл – природный клиноптилолит. Н-Кл-6 – кислотномодифицированный клиноптилолит (3М HNO_3 при 100 °С в течение 6 часов)	300	0	[21-23]
		140	53	[21-24]
$K_2PdCl_4-Cu(NO_3)_2/П-Морд$ $K_2PdCl_4-Cu(NO_3)_2/Н-Морд-6$ $C_{Pd(II)} = 1,36 \cdot 10^{-5}$, $C_{Cu(II)} = 2,9 \cdot 10^{-5}$ (моль/г)	П-Морд – природный морденит. Н-Морд-6 – кислотномодифицированный морденит (3М HNO_3 при 100 °С в течение 6 часов)	300	0	[24]
		180	40	
$K_2PdCl_4-Cu(NO_3)_2/П-Бент(Д)$	П-Бент(Д) – природный бентонит Дашуковского месторождения	300	0	[25]
$K_2PdCl_4-Cu(NO_3)_2/Н-Бент(Д)-1$	Н-Бент(Д)-1 – бентонит, модифицированный 1М HNO_3 при 100 °С в течение 1 часа	48	84	[25]
$K_2PdCl_4-Cu(NO_3)_2/П-Бент(Г)$ $C_{Pd(II)} = 2,9 \cdot 10^{-5}$, $C_{Cu(II)} = 2,9 \cdot 10^{-5}$ (моль/г)	П-Бент(Г) – природный бентонит Горбского месторождения	38	87	[25]
$K_2PdCl_4-Cu(NO_3)_2/П-Тр(К)$	П-Тр(К) – природный трепел Коноплянского месторождения	14	95	[26]
$K_2PdCl_4-Cu(NO_3)_2/Н-Тр(К)-1$	Н-Тр(К)-1 – трепел, модифицированный 1М HNO_3 при 100 °С в течение 1 часа	5	98	[26]
$K_2PdCl_4-Cu(NO_3)_2/П-Тр(М-П)$	П-Тр(М-П) – природный трепел Могилев-Подольского месторождения	47	84,3	
$K_2PdCl_4-Cu(NO_3)_2/Н-Тр(М-П)-1$ $C_{Pd(II)} = 3,05 \cdot 10^{-5}$, $C_{Cu(II)} = 8,8 \cdot 10^{-5}$ (моль/г)	Н-Тр(М-П)-1 – трепел, модифицированный 1М HNO_3 при 100 °С в течение 1 часа	27	91	

* Во всех образцах содержится бромид калия, $C_{KBr} = 1,02 \cdot 10^{-4}$ (моль/г)

их физико-химических свойств, влияющих на состав поверхностных палладий-медных комплексов [17-26].

В табл. 3 представлены сравнительные данные по двум наиболее активным и стабильным Pd(II)-Cu(II)-катализаторам, полученным методом импрегнирования через стадию NH_3 -координации [2, 3; табл. 1] и импрегнирования по влагоемкости через стадию созревания катализатора в течении 24 часов [29] и предварительного прокаливания трепела при 300 °С в течение 1 часа. С учетом удельного объемного расхода ГВС ($w_{\text{уд}}$) рассчитана масса катализатора, необходимая для снаряжения противогазового патрона в СИЗОД при объемном расходе воздуха 30 л/мин (табл. 3).

Таблица 3

Показатели активности и стабильности работы нанесенных катализаторов окисления монооксида углерода при 25 °С.

Показатель	Катализатор Pd(II)-Cu(II)/Al ₂ O ₃ [2,3]	Катализатор Pd(II)-Cu(II)/300-Тр(К) [26]
Содержание K ₂ PdCl ₄ в пересчете на палладий, масс. %	1,7	0,32
Содержание Cu(NO ₃) ₂ в пересчете на медь, масс. %	3,3	1,85
Содержание КВг, масс. %	-	0,79
Масса катализатора, г	0,2	6,0
Объемный расход ГВС, w, мл/мин	50,0	1000
Удельный объемный расход ГВС, w _{уд} , мл/гч	15000	10000
Эффективное время контакта ГВС с катализатором (τ'), с	-	0,71
Начальная концентрация СО (C ^к _{СО}), мг/м ³	1875	300
Конечная концентрация СО (C ^к _{СО}), мг/м ³	0	3
Степень окисления СО (η), %	100	98,2
Время стабильной работы катализатора, ч	30 (при $\phi_{\text{ГВС}}=16,6\%$) 5 (при $\phi_{\text{ГВС}}=96,6\%$)	>90 (при $\phi_{\text{ГВС}}=76\%$)
Расчетная масса катализатора при объемном расходе воздуха 30 л/мин, кг	0,120	0,180

Разработанный нами [29] Pd(II)-Cu(II)/300-Тр(К) катализатор окисления монооксида углерода имеет ряд преимуществ перед известным Pd(II)-Cu(II)/Al₂O₃-катализатором [2,3]: содержание благородного металла палладия в 5 раз меньше;

при повышенной влажности ($\varphi_{\text{ГВС}} = 76\%$) стабильно более 90 часов обеспечивает очистку воздуха от СО ниже ПДК; известный катализатор при $\varphi_{\text{ГВС}} = 16,6\%$ в течение 30 часов понижает активность от 100 до 80 %, при этом $C_{\text{СО}}^{\text{К}} = 370 \text{ мг/м}^3$ (~18 ПДК), а при $\varphi_{\text{ГВС}} = 96,6\%$ активен только 5 часов. Из сравнения показателей следует, что известный катализатор в 1,5 раза активнее предлагаемого нами, поэтому масса катализатора для снаряжения противогазового патрона в 1,5 раза меньше. Но при этом следует учитывать повышенное содержание палладия (1,7 масс. %) и более сложную методику получения известного катализатора.

Литература

1. Radkevich V.Z., Sen'ko T.L., Khaminets S.G., Wilson K., Egiazarov Yu.G. Catalytic systems based on carbon supports for the low-temperature oxidation of carbon monoxide // *Kinet. Catal.* – 2008. – Vol. 49, N 4. – P. 545-551.
2. Shen Y., Lu G., Guo Y., Wang Y. A synthesis of high-efficiency Pd–Cu–Cl_x/Al₂O₃ catalyst for low temperature CO oxidation // *Chem. Commun.* – 2010. – Vol. 6. – P. 8433-8435.
3. Shen Y., Lu G., Guo Y., Wang Y., Guo Y., Gong X. Study on the catalytic reaction mechanism of low temperature oxidation of CO over Pd–Cu–Cl_x/Al₂O₃ catalyst // *Catal. Today.* – 2011. – Vol. 175, N 1. – P. 558-567.
4. Shen Y.-X., Guo Y., Wang L., Wang Y.-Q., Guo Y.-L., Gong X.-Q., Lu G.-Z. The stability and deactivation of Pd–Cu–Cl_x/Al₂O₃ catalyst for low temperature CO oxidation: an effect of moisture // *Catal. Sci. Technol.* – 2011. – Vol. 1, N 7. – P. 1202-1207.
5. Wang L., Zhou Y., Liu Q., Guo Y., Lu G. Effect of surface properties of activated carbon on CO oxidation over supported Wacker-type catalysts // *Catal. Today.* – 2010. – Vol. 153. – P. 184-188.
6. Choi K.I., Vannice M.A. Oxidation over Pd and Cu catalysts. Unreduced PdCl₂ and CuCl₂ dispersed on alumina or carbon // *J. Catal.* – 1991. – Vol. 127. – P. 465-488.
7. Choi K.I., Vannice M.A. Oxidation over Pd and Cu catalysts. Unreduced bimetallic PdCl₂-CuCl₂ dispersed on Al₂O₃ or carbon // *J. Catal.* – 1991. – Vol. 127. – P. 489-511.
8. Kim K.D., Nam I.-S., Chung J.S., Lee J.S., Ryu S.G., Yang Y.S. Supported PdCl₂-CuCl₂ catalysts for carbon monoxide oxidation. Effects of catalyst composition and reaction conditions // *Appl. Catal. B: Environ.* – 1994. – Vol. 5 – P. 103-115.
9. Lee J.S., Choi S.H., Kim K.D., Nomura M. Supported PdCl₂-CuCl₂ catalysts for carbon monoxide oxidation. XAFS characterization // *Appl. Catal. B: Environ.* – 1996. – Vol. 7. – P. 199-212.
10. Choi S.H., Lee J.S. XAFS characterization of supported PdCl₂-CuCl₂ Catalysts for CO oxidation // *React. Kinet. Catal. Lett.* – 1996. – Vol. 57, N 2. – P. 227-236.
11. Koh D.J., Song J.H., Ham S.-W., Nam I.-S., Chang R.-W., Park E.D., Lee J.S., Kim Y.G. Low temperature oxidation of CO over supported PdCl₂-CuCl₂ catalysts // *Korean J. Chem. Eng.* – 1997. – Vol. 14, N 6. – P. 486-490.
12. Lee J.S., Park E.D., Song B.J.. Process development for low temperature CO oxidation in the presence of water and halogen compounds // *Catal. Today.* – 1999. – Vol. 54. – P. 57-64.
13. Park E.D., Lee J.S. Effects of copper phase on CO oxidation over supported Wacker-type catalysts // *J. Catal.* – 1998. – Vol. 180. – P. 123-131.
14. Park E.D., Choi S.H., Lee J.S. Active states of Pd and Cu in carbon-supported Wacker-type catalysts for low-temperature CO oxidation // *J. Phys. Chem. B.* – 2000. – Vol. 104. – P. 5586-5594.
15. Park E.D., Lee J.S. Effect of surface treatment of the support on CO oxidation over carbon-supported Wacker-type catalysts // *J. Catal.* – 2000. – Vol. 193. – P. 5-15.
16. Dyakonov A.J. Abatement of CO from relatively simple and complex mixtures II. Oxidation on Pd-Cu/C catalysts // *Appl. Catal. B: Environ.* – 2003. – Vol. 45. – P. 257-267.
17. Ракитская Т.Л., Киосе Т.А., Волощук А.Г., Олексенко Л.П., Волкова В.Я., Резник Л.И. Влияние кислотного модифицирования базальтового туфа на каталитическую активность закрепленных ацидокомплексов палладия(II) и меди(II) в реакции окисления монооксида углерода кислородом воздуха // *Журн. приклад. химии.* – 2009. – Т. 82, № 2. – С. 204-208.
18. Ракитская Т.Л. Киосе Т.А., Волкова В.Я. Адсорбционные свойства базальтового туфа и каталитическая активность закрепленных на нем ацидокомплексов в реакции окисления монооксида углерода // *Укр. хим. журн.* – 2008. – Т. 74, № 3-4. – С. 80-85.
19. Ракитская Т.Л., Василечко В.О., Киосе Т.А., Грищук Г.В., Волкова В.Я. Адсорбционно-десорбционные свойства базальтовых туфов и каталитическая активность ацидокомплексов палладия(II) и меди(II) в

- реакции окисления оксида углерода(II) кислородом // Журн. приклад. химии. – 2010. – Т. 83, № 7. – С. 1079-1084.
20. *Ракитська Т.Л., Кюсе Т.О., Волкова В.Я., Барбул О.Л.* Обґрунтування способу одержання катализатора на основі Pd(II), Cu(II) і базальтового туфу для низькотемпературного окиснення монооксиду вуглецю киснем // Вісн. Одеськ. нац. ун-ту. Хімія. – 2008. – Т. 13, вип. 11. – С. 5-14.
 21. *Ракитская Т.Л., Кюсе Т.А., Волкова В.Я., Эннан А.А.* Использование природных алюмосиликатов Украины для разработки новых металлокомплексных катализаторов очистки воздуха от газообразных токсичных веществ // Энерготех. ресурсосбер. – 2009. – № 6. – С. 18-23.
 22. *Ракитская Т.Л., Кюсе Т.А., Олексенко Л.П., Вербецкая Т.Г., Зрютина А.М., Каменева А.В.* Влияние влагосодержания на активность закрепленного на кислотно-модифицированном клиноптилолите Pd(II)-Cu(II)-катализатора в реакции низкотемпературного окисления монооксида углерода // Вісн. Одеськ. нац. ун-ту. Хімія. – 2011. – Т. 16, вип. 4. – С. 5-11.
 23. *Rakitskaya T.L., Kiose T.A., Vasylechko V.O., Volkova V.Ya., Gryshhouk G.V.* Adsorption-desorption properties of clinoptilolites and the catalytic activity of surface Cu(II)-Pd(II) complexes in the reaction of carbon monoxide oxidation with oxygen // Chem. Metals Alloys. – 2011. – Vol. 4, N 3-4. – P. 213-218.
 24. *Ракитская Т.Л., Кюсе Т.А., Л.И. Резник* Природные и химически-модифицированные базальтовые туфы. Фазовый состав и каталитическая активность поверхностных Cu(II)-Pd(II)-комплексов в реакции окисления монооксида углерода кислородом // Хімія, фізика та технологія поверхні. – 2012. – Т. 3, № 2. – С. 215-222.
 25. *Rakitskaya T.L., Kiose T.A., Zryutina A.M., Gladyshevskii R.E., Truba A.S., Vasylechko V.O., Demchenko P.Yu., Gryshchouk G.V., Volkova V.Ya.* Solid-state catalysts based on bentonites and Pd(II)-Cu(II) complexes for low-temperature carbon monoxide oxidation // Solid State Phenomena. – 2013. – Vol. 200. – P. 299-304.
 26. *Ракитская Т.Л., Кюсе Т.А., Эннан А.А.* Зависимость защитных свойств низкотемпературного катализатора от концентрации СО и эффективного времени контакта // Вісн. Одеськ. нац. ун-ту. Хімія. – 2013. – В печати.
 27. *Ракитская Т.Л., Раскола Л.А., Труба А.С., Кюсе Т.А., Резник Л.И.* Каталитическое разложение озона закрепленными на природном клиноптилолите ацидокомплексами кобальта(II) // Вопросы химии и хим. технологии. – 2011. – № 2. – С. 118-123.
 28. *Ракитская Т.Л., Резник Л.И., Кюсе Т.А., Эннан А.А., Хитрич В.Ф.* Рентгенофазовое исследование закрепленного на базальтовом туфе Pd(II)-Cu(II)-катализатора // Вісн. Одеськ. нац. ун-ту. Хімія. – 2007. – Т. 12, вип. 2. – С. 99-110.

Стаття надійшла до редакції 25.09.13

**Т. Л. Ракитська¹, Т. О. Кюсе^{1,2}, А. А. Эннан², Г. М. Джига¹, В. Я. Волкова¹,
Х. О. Голубчик^{1,2}**

¹Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,
кафедра неорганічної хімії та хімічної екології,
вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082. E-mail: tlr@onu.edu.ua

²Фізико-хімічний інститут захисту навколишнього середовища і людини
вул. Преображенська, 3, Одеса, 65082

СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗРОБКИ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ КАТАЛІЗАТОРІВ ОКИСНЕННЯ МОНООКСИДУ ВУГЛЕЦЮ РЕСПІРАТОРНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ. III. НАНЕСЕНІ МЕТАЛОКОМПЛЕКСНІ КАТАЛІЗАТОРИ

Резюме

Проаналізовані оригінальні, опубліковані в 2006-2012 роках роботи в області, розробки катализаторів низькотемпературного (не вище 100 °С) окиснення монооксиду вуглецю. Серія статей містить у собі інформацію про металеві, оксидні і оксидно-металеві, а та-

кож нанесені металокомплексні (дана стаття) каталізатори. Проведене порівняння кращих закордонних і вітчизняних каталізаторів окиснення монооксиду вуглецю.

Ключові слова: монооксид вуглецю, низькотемпературне окиснення, нанесені металокомплексні каталізатори

**T. L. Rakitskaya¹, T. A. Kiose^{1,2}, A. A. Ennan², A. M. Djiga¹, V. Ya. Volkova¹,
K. O. Golubchik^{1,2}**

¹I. I. Mechnikov Odessa National University,
Department of Inorganic Chemistry and Chemical Ecology,
2, Dvoryanskaya St., Odessa, 65082. E-mail: tlr@onu.edu.ua

²Physico-Chemical Institute of Environment and Human⁹ Protection,
Preobrazhenskaya St., 3, Odessa, 65082, Ukraine

THE STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF LOW-TEMPERATURE CATALYSTS FOR CARBON MONOXIDE OXIDATION OF RESPIRATORY PURPOSE. III. SUPPORTED METAL-COMPLEX CATALYSTS

Summary

Original papers in the field of development of catalysts for low-temperature (not higher than 100 °C) carbon monoxide oxidation published in 2006-2012 have been analyzed. Our series of articles includes the information about metal, oxide and metal-oxide as well as supported metal-complex (this article) catalysts. A comparison of the best foreign and domestic catalysts for carbon monoxide oxidation has been made.

Keywords: carbon monoxide, low-temperature oxidation, supported metal-complex catalysts