

УДК 542.924:541.127:546.26

Т. Л. Ракитская, А. Ю. Бандурко, Л. А. Раскола  
Одесский национальный университет,  
кафедра неорганической химии и химической экологии  
ул. Дворянская, 2, Одесса, 65026, Украина

## КАТАЛИЗАТОРЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ОЗОНА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ

Представлены результаты анализа состава и применения оксидных, металлических, оксидно-металлических и металлокомплексных катализаторов низкотемпературного разложения озона. Показано, что перспективные при разработке средств индивидуальной защиты органов дыхания нанесенные металлокомплексные катализаторы, практически не изучены.

**Ключевые слова:** озон, разложение, состав катализаторов, области применения

Катализаторы разложения озона по форме нахождения активного компонента можно разделить на металлические [1-11], оксидные, оксидно-металлические [12-42] (табл. 1) и металлокомплексные [43-46] (табл. 2).

Металлические катализаторы, в основном, предназначены для очистки больших объемов воздуха в широком диапазоне температур в условиях перепада давления, поэтому в их состав входят Pt и/или Pd, нанесенные на активированные углеродные волокна, алюминиевую сетку или  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  [1-3]; коммерческий интерес представляют катализаторы экологического назначения для эксплуатации в автомобилях, которые обеспечивают очистку воздуха от  $\text{O}_3$  и CO одновременно. К таким можно отнести, например катализаторы, содержащие Pt, Pd и Ni [7], а также сплав Ag и Cu [9], нанесенные на конструкции двигателей и/или систем кондиционирования воздуха в салонах автомобиля. В последнее время эффективно продвигаются катализаторы нового поколения на основе золота, например Au/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, которые при температуре окружающей среды одновременно обезвреживают  $\text{O}_3$  и CO [4].

Наиболее широко представлены оксидные и оксидно-металлические катализаторы, в составе которых чаще всего используют MnO<sub>2</sub>; его активность во многом зависит от природы носителя [13,14,17,18]; наличия других оксидов (CuO, NiO, CoO, Ag<sub>2</sub>O) [22-24] и металлов (Pd, Ag) [26,27]. Обращает внимание катализатор сложного состава, в котором помимо MnO<sub>2</sub> и CuO содержатся Ca(OH)<sub>2</sub> и CaCl<sub>2</sub>, предназначенные для улавливания паров воды и кислых газов [22]. Катализатор состава (в масс. %): MnO<sub>2</sub> – 4 – 20; оксиды Ni или Cu, или Co – 3-8; Au – остальное, показал высокую активность при  $C_{\text{O}_3}^1 = 430 - 640 \text{ мг/м}^3$ , объемной скорости ГВС 5000-20000 ч<sup>-1</sup> в течение 500-2000 часов [24]. Сложные оксидно-металлические катализаторы, содержащие металлы платиновой группы (Pt, Pd), оксиды MnO<sub>2</sub>, CuO, NiO, Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ag<sub>2</sub>O, MoO<sub>3</sub>, WO<sub>3</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SnO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub> и редкозе-

мельных элементов в разных комбинациях, в качестве носителей – АУ, цеолиты и алюмосиликаты, используют для очистки воздуха и других газов при высоких концентрациях озона ( $\sim 10000 \text{ мг/м}^3$ ), объемных скоростях ( $\sim 4 \cdot 10^5 \text{ ч}^{-1}$ ) и  $T = 283\text{-}533 \text{ К}$  [39 – 42].

Здесь представлена в основном ключевая информация о наиболее перспективных оксидных, металлических и оксидно-металлических катализаторах разложения озона. Однако даже на этом фоне сведения о нанесенных металлокомплексных катализаторах (НМКК) весьма скромные (табл. 2). Перечисленные катализаторы используют для очистки воздуха с низким содержанием озона (1,5; 7,7-31,3  $\text{мг/м}^3$ ). От концентрации озона зависит время защитного действия катализатора ( $\tau_{\text{пдк}}$ ). Так даже содержащий  $\text{PdCl}_2$  катализатор [43] только в течение 30 минут обеспечивает очистку воздуха до ПДК; а для катализатора  $\text{CuCl}_2/\text{УВМ}$   $\tau_{\text{пдк}} = 60 \text{ ч}$  при  $C_{\text{O}_3}^I = 1,5 \text{ мг/м}^3$  [46]. Исходя из нашего опыта, такие катализаторы могут найти применение при очистке небольших объемов воздуха, например в средствах индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) [47-49].

Анализ патентных и литературных источников показал, что сведения о применении НМКК для низкотемпературного разложения озона очень ограничены, тем не менее они имеют преимущества перед другими типами катализаторов: варьирование активности благодаря изменению природы центрального атома ( $\text{Me}^{n+}$ ), лигандов (L) и носителей; сравнительно простая технология получения (импрегнирование носителя каталитическим раствором и сушка при температуре не выше 373 – 383 К).

Таблица 1

Состав и свойства катализаторов разложения озона

№ п/п	Состав катализатора		Условия испытания катализаторов, эффективность. Назначение	Литература
	Активные компоненты	Носитель		
<i>I. Нанесенные металлические катализаторы</i>				
1	Pt и/или Pd	Активированное углеродное волокно с объемом пор $\geq 0,3 \text{ см}^3/\text{г}$ и долей пор радиусом $\leq 100 \text{ \AA} \geq 70\%$	Очистка воздуха, нагнетаемого в кабины самолетов	[1]
2	Pt и/или Pd	Сетка из алюминиевой проволоки	Для бытового использования в виде тонких сеток, средств защиты человека	[2]
3	Pt	$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	$C_{\text{O}_3}^{II} = 0,17 \text{ моль/м}^3 (8,09 \text{ мг/м}^3)$ $\omega = 2400\text{-}44000 \text{ ч}^{-1}$ ; $T = 298\text{-}323 \text{ К}$ ; $\tau' = 0,15 \text{ с}$ (при $\omega = 2400 \text{ ч}^{-1}$ ) $\phi = 90\%$ ; $\eta = 75\%$	[3]

№ п/п	Состав катализатора		Условия испытания катализаторов, эффективность. Назначение	Литература
	Активные компоненты	Носитель		
4	Au/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Очистка воздуха от O <sub>3</sub> и CO при температуре окружающей среды	[4]
5	Ag – 0,005–10,0 (масс. %)	АУ (S <sub>уд</sub> = 700 – 1500 м <sup>2</sup> /г; гранулированный); АУ и стекловолокно	C <sub>O<sub>3</sub></sub> <sup>H</sup> = 0,32 мг/м <sup>3</sup> ; ω = 90 м <sup>3</sup> /ч; U = 0,52 м/с; η = 100%; через 30 ч η = 95-81%. Очистка отходящих газов от электрографических устройств	[5]
6	Металлы платиновой группы в виде смеси или сплавов: Pt; Pt+Rh; Pt+Ag; Pd; Pd+Pt		C <sub>O<sub>3</sub></sub> <sup>H</sup> = 0,32 мг/м <sup>3</sup> ; T = 293–298 К; η = 83-98%	[6]
7	Pt, Pd, Ni	Элементы конструкций автомобиля (радиатор, кондиционер)	Очистка от O <sub>3</sub> и CO воздуха, подаваемого в салон автомобиля при температуре окружающей среды	[7]
8	Ni, Co, Cu, Au, Pt и Ag (металлы наносят электролизом)	Полимерные волокна	Очистка воздуха при проведении процессов с растворами, содержащими H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> и O <sub>3</sub>	[8]
9	Сплав Ag и Cu	Элементы конструкций двигателя или систем кондиционирования воздуха в автомобиле	Очистка от озона воздуха, подаваемого в салон автомобиля при температуре окружающей среды	[9]
10	Один или более металлов из группы Ni, Fe, Co и Ti	АУ в гранулах	Очистка воздуха с повышенным содержанием паров воды от установок озонирования воды; установок дезодорирования воздуха	[10]
11	Co-Mn-Cu	Цемент		[11]

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Состав катализатора		Условия испытания катализаторов, эффективность. Назначение	Литература
	Активные компоненты	Носитель		
<i>II. Оксидные и оксидно-металлические катализаторы</i>				
1	MnO <sub>2</sub>	АУ с размером частиц ≤ 65 меш	Очистка воздуха от сравнительно небольших концентраций озона	[12]
2	MnO <sub>x</sub>	γ-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ZrO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , SiO <sub>2</sub>	Высокая активность при повышенной влажности ГВС	[13] [14] [15]
3	MnO <sub>2</sub> со средним размером кристалликов ~ 2 мкм		Увеличивается продолжительность срока службы катализатора	[16]
4	MnO <sub>2</sub>	АУ или TiO <sub>2</sub> , SiO <sub>2</sub>	Очистка воздуха в туннелях с источником озона от УФ излучателей	[17]
5	MnO <sub>2</sub>	Высокопористые металлические губки; блоккерамика	Активен при высоких температурах и влажности ГВС	[18]
6	MnO <sub>2</sub>	Керамические волокна	Очистка воздуха от O <sub>3</sub> при температуре окружающей среды	[19]
7	MnO <sub>2</sub> CaO – 5 – 15 ат. % (в пересчете на металлическое состояние)	MnO <sub>2</sub>		[20]
8	MnO <sub>2</sub> – 3 – 18 NiO – 73 – 91 CoO – 0,5 – 14 (мол. %)	Гранулированный катализатор		[21]
9	MnO <sub>2</sub> и CuO (до 30 масс. %) АУ – 10 – 30 масс. %; Ca(OH) <sub>2</sub> CaCl <sub>2</sub>	Цемент и метасиликат натрия (30-50 масс. % от массы АУ)	Очистка воздуха, содержащего кислые газы и пары воды	[22]
10	α-MnO <sub>2</sub> или Mn(OH) <sub>4</sub> ; CuO Ag <sub>2</sub> O·nH <sub>2</sub> O — 0,1 – 5,0 масс. %	Гранулированный катализатор	Разложение озона длительное время при низкой температуре и высокой влажности	[23]
11	MnO <sub>2</sub> – 4 – 20 масс. % оксиды Ni или Cu или Co – 3-8 масс. %	АУ	C <sub>О<sub>3</sub></sub> <sup>H</sup> = 300 – 200 ppm (638,3 – 425,5 мг/м <sup>3</sup> ); ω = 5000 – 20000 ч <sup>-1</sup> Продолжительность работы катализатора 500 – 2000 ч	[24]

№ п/п	Состав катализатора		Условия испытания катализаторов, эффективность. Назначение	Литература
	Активные компоненты	Носитель		
12	$\text{CoO}_x - 1 - 20\%$ $\text{MnO}_2$ — остальное	$\text{MnO}_2$ $\text{SiO}_2$	Очистка воздуха	[25]
13	$\text{Pd-MnO}_2$	Активированный морденит	$\omega = 2 \cdot 10^4 \text{ ч}^{-1}$ ; $T = 293 \text{ K}$ ; $\eta = 100\%$ Для очистки воздуха от озона, а также глубокого количественного окисления олефинов и ароматических углеводородов озонном	[26]
14	$\text{Ag-MnO}_2$	Алюмосиликат марки "Bentonin" и метасиликат щелочного металла	$C_{\text{O}_3}^{\text{H}} = 9160-11910 \text{ мг/м}^3$ $C_{\text{O}_3}^{\text{K}} = 0,078 \text{ мг/м}^3$ ; $\omega = 11000 - 18000 \text{ ч}^{-1}$ ; $T = 288-298 \text{ K}$ ; $\varphi = 80-90\%$ Очистка воздуха и других газов от озона при высоких объемных скоростях, нормальных температуре и давлении, в широком диапазоне влажности	[27]
15	$\text{Ag} - 0,1 - 20$ масс. % $\text{MnO}_2 -$ $99 - 80$ мол. % $\text{CoO} - 1 - 20$ мол. % Пример: $\text{Ag} - 3$ масс. % $\text{MnO}_2 -$ $90$ масс. % $\text{CoO} -$ $10$ масс. %	$\text{MnO}_2 + \text{CoO}$	Очистка отходящих газов с большой концентрацией озона. ( $\eta = 99\%$ , после 150 ч работы $\eta = 97,5\%$ )	[28]
16	$\text{Ag-MnO}_2\text{-ZrO}_2$	Медный носитель с высокой удельной поверхностью	$C_{\text{O}_3}^{\text{H}} = 2,94 \text{ мг/м}^3$ ; $T = 498 \text{ K}$ ; $\omega = 11430 \text{ ч}^{-1}$ ; $\eta = 97 \%$ Очистка воздуха в пневматических трубопроводах самолетов с минимальными затратами энергии при минимальных массе катализатора и перепаде давления в слое, при невысоких температурах	[29] [30]
17	$\text{Ag-MnO}_2\text{-ZrO}_2$	Никелевый или алюминиевый носители с высокоразвитой поверхностью	Носитель алюминий: $C_{\text{O}_3}^{\text{H}} = 3,44 \text{ мг/м}^3$ ; $\omega = 1746 \text{ ч}^{-1}$ ; $T = 467 \text{ K}$ ; $\eta = 51 \%$ Носитель никель: $C_{\text{O}_3}^{\text{H}} = 3,37 \text{ мг/м}^3$ ;	[31]



Окончание таблицы 1

№ п/п	Состав катализатора		Условия испытания катализаторов, эффективность. Назначение	Литература
	Активные компоненты	Носитель		
2	Pt, Pd Оксиды: $MnO_2$ , $MoO_3$ , $CuO$ , $Fe_2O_3$ , $Ag_2O$ , $NiO$ , $Co_3O_4$ , $WO_3$ , $V_2O_5$ , $SnO_2$	АУ, цеолиты или их смеси. Гранулированный катализатор	Фильтры очистки воздуха, подаваемого в салон автомобиля	[40]
3	0,01-5,0 масс. % Pt, оксидов Mn, Fe, Co, Zr и/или РЗЭ таких как Y и Gd	АУ	Разложение озона в отходящих газах	[41]
4	Сложная каталитическая композиция: $Pd-MnO_2$ (I) Pt, Rh и $Ag_2O$ (II)		Катализатор обеспечивает разложение озона с большой объемной скоростью в условиях влажности и/или низкой температуры	[42]

Таблица 2

Состав и свойства НМКК разложения озона

№ п/п	Состав катализатора		Условия испытания катализаторов, эффективность. Назначение	Литература
	Активные компоненты	Носитель		
1	$PdCl_2$ – 0,003 масс. % $CuCl_2$ или $NiCl_2$	$Al_2O_3$	$C_{O_3}^H = 7,7 - 31,4 \text{ г/м}^3$ ; $\eta = 99,0-99,5\%$ ; $\tau' = 0,3 \text{ с}$ Время защитного действия катализатора при $C_{O_3}^H = 31,4 \text{ мг/м}^3$ составляет 30 мин	[43]
2	$PdCl_2$	$Fe_2O_3$ или BaO	Очистка вентиляционных газов; катализатор с маленьким аэродинамическим сопротивлением	[44]
3	Водорастворимые соединения марганца(II) и щелочного или щелочно-земельного металла	АУ	Очистка воздуха при комнатной температуре	[45]
4	$CuCl_2$ – 0,5 – 3,0 масс. %	Углеродный волокнистый материал	$C_{O_3}^H \leq 1,5 \text{ мг/м}^3$ ; $\omega = 1 \text{ л/мин}$ ; $T = 283 - 313 \text{ К}$ ; $\eta = 100\%$ ; $\tau_{\text{плк}} = 60 \text{ ч}$ . Для снаряжения противогазовых фильтров респираторов	[46]

## Литература

1. Заявка 59-49050 Япония. Способ удаления озона / Тоё босаки К.К. – № 51-89853; Заявл.27.07.76; Оpubл. 30.11.84.
2. Заявка 19733756, ФРГ. Protective screening containing catalysts for insect control and ozone decomposition / R. Narpieski. – № 97-19733756; Заявл. 5.08.97; Оpubл.13.08.98.
3. Catalytic decomposition of ozone in the presence of water vapor/W.T. Tsai, C.Y. Chang, F.H. Jung, et al. // J. Environ. Sci. Health. Part A. – 1998. – V.A33, N 8. – P. 1705-1717.
4. Supported gold catalysts used for ozone decomposition and simultaneous elimination of ozone and carbon monoxide at ambient temperature / Z. Hao, D. Cheng, Y. Guo, Y. Liang // Appl. Catal. B. – 2001. – V.33, N 3. – P.217 – 222.
5. Заявка 1585574 Великобритания. Method of decomposing ozone / Fujixerox Co. Ltd. – № 17721/77; Заявл.28.04.77. (Приор. Японии № 51-50930 от 06.05.76); Оpubл.04.03.81.
6. Заявка 2462928 Франция. Procédé d'élimination de l'ozone d'un mélange de gaz / M. Viatt, A. Gartshore, A.M. Could, G.M. Leach. – № 7927702; Заявл.08.06.79; Оpubл.27.03.81.
7. Use of catalytic monoliths for on-road ozone destruction/S.H. Oh, R.M. Sinkevitch, J.A. Baker, G.E. Nicolas // Soc. Automot. Eng. (Special Publ.). – 1998. – SP 1353. – P.103-109.
8. Заявка 76-205097 Япония. Metal catalyst deposited on polymer fibers and method of processing solution containing activated oxygen / K. Ikeda, S. Jizo; Nitto Denko Corp. – № 2000-20014324; Заявл.24.01.2000; Оpubл.31.07.2001.
9. Патент 9806480 США. Environmental control system incorporating a catalytic reactor for the decomposition of ozone / C. S. Pollit, R. Tom, W. Westelaken, S. T. Homeyer, S.J. Mikolajczyk; AlliedSignal Inc. – № 97-US14496; Заявл.18.08.97; Оpubл.19.02.98.
10. Заявка 11347413 Япония. Catalyst for decomposition on ozone, its production and method for decomposing ozone / T. Furuya, I. Watanabe, H. Yamauchi, S. Tanaka, C. Marumo, S. Ibaraki; Kanebo Ltd., Kansai Electric Power Co Inc., The, Kurita Water Ind. Ltd. – № 1998-0153026; Заявл.02.06.98; Оpubл.21.12.99.
11. Кинетика разложения озона на Co-Mn-Cu катализаторе, содержащем цемент / Е.А. Махов, Г.В. Егорова, С.Н. Ткаченко и др./ Ж. физ. химии. – 1999. – Т.73, № 7. – С.1205-1207.
12. Заявка 62-1304 Япония. Стекловолоконный фильтр для разложения озона и способ его изготовления / Параманто гарасу когё К.К. – № 54-161838; Заявл.13.12.79; Оpubл.12.01.87.
13. Decomposition of ozone over MnOx/g-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalysts/Q. Yang, J. Xie, Z. Xu, W. Zhang, Y. Feng // Sichuan Daxue Xuebao, Ziran Kexueban. – 2001. – V.38, N 2. – P.226-229.
14. Structure of MnO<sub>x</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Catalysts: A study using EXAFS, in situ laser Raman spectroscopy and ab calculations/R. Radhakrishnan, S.T. Oyama, Y. Ohminami, K. Asakura // J. Phys. Chem. – 2001. – V.105, N 38. – P.9067-9070.
15. Electron transfer in ozone decomposition on supported manganese oxide/R. Radhakrishnan, S.T. Oyama, J.G. Chen, K. Asakura // J. Phys. Chem. – 2001. – V.105, N 19. – P.4245-4253.
16. Заявка 0013790 WO. Ozone destroying compositions comprising manganese oxide / R.M. Heck, J.B. Hoke; Engelhard Corp. – № WO1999US17608; Заявл.03.08.99; Оpubл.16.03.2000.
17. Заявка 11290653 Япония. Method and device for removal of gaseous pollutant using activated carbon and ozone-decomposition catalyst/M. Inoue, J. Wakamatsu; Fujitsu Vlsi Ltd., Toyoko Riken K.K., Fujitsu Ltd. – № 98-97131; Заявл.09.04.98; Оpubл.26.10.99.
18. Оксидномарганцевые катализаторы разложения озона на основе высокопористых металлических керамических материалов // Л.И. Бельских, Л.Е. Горленко, Г.И. Емельянова и др. // Вестн. Моск. унив. Сер.2. Химия. – 1998. – Т.39, № 3. – С.166-169.
19. Заявка № 10043628 Япония. Air purification machine using ionized wind with ozone decomposition catalyst / M. Tomita, S. Hosokawa, T. Kimura; Matsushita Electric Industrial Co., Ltd. – № 96-201732; Заявл.31.07.96; Оpubл.17.02.98.
20. Заявка 61-17545 Япония. Катализатор разложения озона / К.К. Фудзи дэнки сого. – № 57-136940; Заявл.17.02.81; Оpubл.08.05.86.
21. Заявка 60-97049 Япония. Ozone decomposing catalyst / Fuji denki sougou kenkyusho К.К. – № 58-205254; Заявл.01.11.83; Оpubл.24.09.85.
22. Заявка 3400764 ФРГ. Korniges Filtermittel zur Entfernung von Schadstoffen aus der Luft/L. Irgel, P. Ehlenz; Collo GmbH. – № P 3400764.4; Заявл.12.01.84; Оpubл.25.07.85.
23. Заявка 11179207 Япония. Catalysts for decomposition of ozone and their manufacture / K. Shinoda; Mitsui Mining and Smelting Co., Ltd. – № 97-35261; Заявл. 22.12.97; Оpubл.06.07.99.



24. Патент 1259398 КНР. G. Yulin, L. Shuwen, X. Xianlun. – № 99-0126990; Заявл.24.12.99; Оpubл.12.07.2000.
25. Заявка 57-136940 Япония. Катализатор разложения озона / К. Кунихара, Й. Хиросэ; К.К. Фудзи дэнки сого кэнкюсё. – № 56-21843; Заявл.17.02.81; Оpubл.24.08.82.
26. Изыскание эффективных катализаторов низкотемпературного глубокого озонокаталитического окисления углеводородов/В.Я. Вольфсон, С.А. Соловьев, А.Ф. Судак, В.М. Власенко // Ж. прикл. химии. – 1984. – Т. 57, № 8. – С.1821-1826.
27. Заявка 2037605 Великобритания. Ozone decomposition catalysts / A. Joh; Benckiser GmbH (ФРГ). – № 7939939; Заявл.19.11.79 (Приор. ФРГ № 2850154 от 18.11.78); Оpubл.16.07.80.
28. Заявка 57-136941 Япония. Катализатор разложения озона / К. Лунихара, Й. Хиросэ; К.К. Фудзи дэнки сого кэнкюсё. – № 56-21844; Заявл.17.02.81; Оpubл.24.08.82.
29. Патент 4173549 США. Catalyst composition for decomposing ozone / R. A. Kent, M.M. Fein; Dart Ind. Inc. – № 944836; Заявл.22.09.78; Оpubл.06.11.79.
30. Заявка 2436626 Франция. Cataliseur et dispositif pour catalytique la separation d'ozone/Dart Ind. Inc. (USA). – № 79.21284; Заявл.23.08.79 (Приор. США № 944836 от 22.09.78); Оpubл.23.05.80.
31. Патент 4261863 США. Ozone control catalyst compositions / R.A. Kent, M.M. Fein. – № 944.836; Заявл.05.11.79; Оpubл.14.04.81.
32. Заявка 57-46370 Япония. Катализатор процесса разложения озона / Мицубиси касэй когё К.К. – № 51-129020; Заявл.27.10.76; Оpubл.02.10.82.
33. Заявка 60-5340 Япония. Способ получения катализатора разложения озона / Т. Такэи. – № 55-45965; Заявл.04.03.77; Оpubл.09.02.85.
34. Заявка 10263403 Япония. Filler having nickel catalyst for decomposition of ozone from waste gas / Н. Sugimitsu, R. Kurokawa; Jpn. Kokai Tokkyo Koho. – № 97-73564; Заявл.26.03.97; Оpubл.06.10.98.
35. Влияние добавок никеля на активность цемент-содержащих катализаторов разложения озона / Л.В. Мартынов, С.Н. Ткаченко, М.И. Демидюк и др. // Вестн. Моск. унив. Сер.2. Химия. – 1999. – Т.40, № 6. – С.355-357.
36. Заявка 58-17838 Япония. Катализатор разложения озона / К. Кунихара, Й. Кэндзи; К.К. Фудзи дэнки сого кэнкюсё. – № 56-114779; Заявл.22.07.81; Оpubл.02.02.83.
37. Заявка 58-17837 Япония. Катализатор разложения озона / К. Кунихара, Й. Хиросэ; К.К. Фудзи дэнки сого кэнкюсё. – № 56-114780; Заявл.22.07.81; Оpubл.02.02.83.
38. Заявка 57-136942 Япония. Катализатор разложения озона / К. Кунихара, Й. Хиросэ; К.К. Фудзи дэнки сого кэнкюсё. – № 56-21845; Заявл.17.02.81; Оpubл.24.08.82.
39. 3149901 ФРГ. Edelmetallkatalisator fur die Zersetzung von Ozon, dessen Stabillisierung und Verfahren zur Zersetzung von Ozon / W.F. Carr, J.M. Chen; Engelhard Corp. (USA). – Заявл.16.12.81 (Приор. США № 21837 от 22.12.80); Оpubл.24.06.87.
40. Заявка 19650400 ФРГ. Ozone filter for mobile use / L. Yiqun. – № 96-19650400; Заявл.05.12.96; Оpubл.10.06.98.
41. Заявка 10328285 Япония. Catalytic material for ozone decomposition in waste gases and its preparation / Т. Katayama, Т. Maeda, S. Mizutori, Т. Ueno, Т. Shiraiishi, Н.И. Watani, М. Makiyama. – № 97-157978; Заявл.30.05.97; Оpubл.15.12.98.
42. Заявка 0013772 ВО. Catalyst composition for the decomposition of ozone / M. Deeba. – WQ1999US № 17195; Заявл.29.07.99; Оpubл.16.03.2000.
43. Заявка 2142324 Великобритания. A method of removing ozone from air / V.F. Zackay, D.R. Rowe; Teledine Ind. Inc. (USA). – № 8415221; Заявл.14.05.84 (Приор. США № 508856 от 29.06.83); Оpubл.16.01.85.
44. Заявка 10014485 ФРГ. Sorption catalyst with small flow resistance for ozone decomposition in ventilating systems/Н. Rump, О. Kiese Wetter. – № 10014485; Заявл.23.03.2000; Оpubл.27.09.2001.
45. Заявка 61-20329 Япония. Способ удаления озона / Такэда якухин когё К.К. – № 53-45712; Заявл.17.04.78; Оpubл.24.05.86.
46. Патент 10368А Украина. Катализатор для очищення повітря від озону / Т.Л. Ракитська, А.А. Эннан, О.Ю. Бандурко, В.Я. Паина, В.В. Литвинська. – 25.12.1996
47. Разработка материалов и катализаторов для средств защиты органов дыхания от озона / Т.Л. Ракитская, А.А. Эннан, А.Ю. Бандурко, В.В. Литвинская // Безопасность труда в пром-сти. – 1993. – № 6. – С 19-20.

48. *Ракитская Т.Л., Эннан А.А., Бандурко А.Ю.* Углеродные волокнистые материалы для респиратора «Снежок ГП-Озон» / Автомат. сварка. – 1995. – № 7 (508). – С. 62-64.
49. *Carbon-fibrous-material-supported base catalysts of ozone decomposition/T.L. Rakitskaya, A.Yu. Bandurko, A.A. Ennan et al.* // *Microporous and Mesoporous Materials.* – 2001. – V.43, N 2. – P.153-160.

**Ракитська Т. Л., Бандурко А. Ю., Раскола Л. А.**  
Одесский национальный университет,  
кафедра неорганической химии и химической экологии  
ул. Дворянская, 2, Одесса, 65026, Украина

**КАТАЛИЗАТОРИ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО РОЗКЛАДУ ОЗОНУ: СТАН  
ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗРОБКИ**

**Резюме**

Представлені результати аналізу складу та застосування оксидних, металевих, оксидно-металевих і металокомплексних каталізаторів низькотемпературного розкладу озону. Виявлено, що перспективні при розробці засобів індивідуального захисту органів дихання нанесені металокомплексні каталізатори, практично не вивчені.

**Ключові слова:** озон, розклад, склад каталізаторів, області застосування.

**Rakitskaya T. L., Bandurko A. Yu., Raskola L. A.**  
Odessa National University, Chemical Faculty,  
Department of Inorganic Chemistry and Chemical Ecology,  
Dvoryankaya St., 2, Odessa, 65026, Ukraine

**CATALYSTS FOR LOW-TEMPERATURE OZONE DECOMPOSITION: STATE-  
OF-THE-ART AND PROSPECTS OF THE DEVELOPMENT**

**Summary**

The analysis of compositions of oxide, metal, metal-oxide, and metal-complex catalysts and their employment for the low-temperature ozone decomposition is presented. As was found, the supported metal-complex catalysts, perspective for development of individual respiratory-protecting means, are practically unstudied.

**Key-words:** Ozone, decomposition, catalyst compositions, fields of application