

Владимир Арнольдович ВИНОКУРОВ окончил в 1972 г. химико-технологический факультет МИНХ и ГП имени И.М. Губкина по специальности «Инженер-технолог», в 1975 г. – аспирантуру там же. Доктор химических наук, заведующий кафедрой физической и коллоидной химии РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. Крупный специалист в области химии поверхностных явлений и дисперсных систем, синтеза и стабилизации наночастиц, биотехнологии. Автор более 200 научных публикаций.

Vladimir A. VINOKUROV graduated from Moscow Institute of Petrochemical and Gas industry in the specialty of "Technical engineer", in 1975 he completed his postgraduate studies ibidem. He is a doctor of Chemical Sciences, Professor, head of the department of Physical and Colloid Chemistry at Gubkin Russian State University of Oil and Gas. Vladimir Vinokurov is a prominent specialist in the field of surface chemistry and disperse systems chemistry, synthesis and stabilization of nanoparticles and biotechnology. He is an author of over 200 scientific publications.

E-mail: vinok_ac@mail.ru

УДК 546.262.3:542.971.2

КАТАЛИТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ КАРБОНИЛИРОВАНИЕМ ОЛЕФИНОВ И СПИРТОВ В СРЕДЕ ИОННЫХ ЖИДКОСТЕЙ*

© О.Л. ЕЛИСЕЕВ¹, А.Л. ЛАПИДУС²

(¹Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН,
Российская Федерация, 119991 Москва, Ленинский проспект, д. 47;

²РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, Минобрнауки РФ,
Российская Федерация, 119991, г. Москва, Ленинский просп., д. 65)

CATALYTIC SYNTHESIS OF CARBOXYLIC ACIDS BY CARBONYLATION OF OLEFINS AND ALCOHOLS IN IONIC LIQUID MEDIA

O.L. ELISEEV¹, A.L. LAPIDUS²

(¹Zelinsky Institute of organic chemistry, PhD,
Leninskiy prospect, 47, 119991, Moscow, Russian Federation;

²Gubkin Russian State University of Oil and Gas,
Leninskiy prospect, 65, 119991, Moscow, Russian Federation)

Каталитическое карбонилирование этилена, высших олефинов и спиртов позволяет получать карбоновые кислоты. Авторами статьи показано, что удобными средами для проведения этих реакций являются ионные жидкости. Их преимуществом над стандартными растворителями является способность растворять палладиевый катализатор, не содержащий органофос-

*Статья рекомендована к печати редакционной коллегией сборника.

финовых лигандов. Тем самым достигается существенное упрощение и снижение стоимости каталитической системы. Также показано, что после экстракции продуктов реакции катализатор остается растворенным в ионной жидкости и может быть использован многократно без потери активности.

Catalytic carbonylation of ethylene, higher olefins and alcohols produces carboxylic acid. We have shown that a comfortable media for these reactions are ionic liquids. Their advantage over standard solvents is the ability to dissolve the palladium catalyst not containing organophosphine ligands. This achieves a substantial simplification and cost reduction of the catalyst system. Also shown is that after extraction of the reaction products, the catalyst remains dissolved in the ionic liquid and can be used repeatedly without loss of activity.

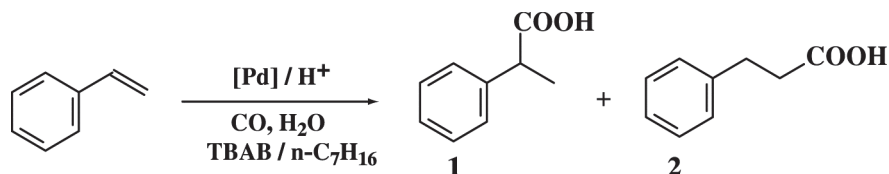
Ключевые слова: гомогенный катализ, монооксид углерода, карбонилирование, олефины, спирты, карбоновые кислоты, палладий.

Keywords: homogeneous catalysis, carbon monoxide, carbonylation, olefins, alcohols, carboxylic acids, palladium.

Каталитическое карбонилирование является универсальным методом введения карбонильной группы в разнообразные органические субстраты – непредельные соединения, галогениды, амины, нитропроизводные и другие. Каталитическое карбонилирование выгодно отличается от стехиометрических методов синтеза высокой селективностью, часто отсутствием побочно образующихся продуктов, дешевым сырьем. Оксид углерода обычно получают паровой конверсией природного газа, а также в процессах газификации горючих ископаемых, нефтяных остатков, возобновляемого углеродсодержащего сырья, древесины, с/х отходов. Карбонилирование олефинов, диенов и спиртов в присутствии комплексов металлов VIII группы является одностадийным методом синтеза карбоновых кислот и их эфиров [1].

В последнее десятилетие ионные жидкости (ИЖ) интенсивно изучаются в качестве реакционных сред благодаря своим уникальным качествам: они нелетучи, негорючи, термически и химически стабильны, плохо смешиваются со стандартными неполярными растворителями, такими как эфир и алканы, хорошо растворяют металлокомплексы и даже некоторые соли. Некоторые из них не смешиваются также и с водой. Благодаря этим свойствам ИЖ удобны для применения в качестве сред химических реакций, а также при реализации двухфазных каталитических систем с последующим разделением реакционных смесей. Практически нулевое давление насыщенного пара и негорючесть ИЖ позволяют рассматривать их как перспективные растворители. Опубликован ряд обзоров и монографий, посвященных использованию ИЖ в органических синтезах и катализе [2–8].

В развитие работ по изучению карбонилирования органических соединений окисью углерода нами исследованы Pd-катализируемые реакции карбонилирования олефинов и спиртов в среде ИЖ. Систематически изучено карбонилирование стирола в двухфазной системе тетрабутиламмонийбромид (ТВАВ)/гептан, с образованием гидратроповой (1) и гидрокоричной (2) кислот [9–11]:



Показано, что конверсия стирола и выходы кислот растут с повышением давления СО. Так, при повышении давления СО с 1 до 7 МПа конверсия стирола возрастает с 46 до 98 %, а выход кислот с 37 до 91 %. При давлении ниже 1,5 МПа основным продуктом реакции является линейная кислота **2**, в то время как при повышении давления соотношение **1/2** возрастает. Наблюдается также образование небольшого количества этилбензола – продукта гидрирования стирола (табл. 1). Этот результат согласуется с данными других авторов, изучавших аналогичные реакции в стандартных растворителях [12, 13]. Повидимому, влияние давления СО на региоселективность объясняется совокупностью стерических и электронных факторов: с ростом давления объемные лиганды PPh_3 вытесняются из координационной сферы Pd более компактными молекулами СО, что способствует образованию кислоты **1**. Кроме того, гидридный комплекс HPdL_3 становится более кислым, что также способствует присоединению олефина по правилу Марковникова с образованием гидратроповой кислоты.

С повышением температуры реакции конверсия стирола увеличивается. До температуры 120 °С выход кислот возрастает симбатно конверсии, и одновременно наблюдается незначительное гидрирование стирола в этилбензол. Водород для гидрирования может образовываться по реакции водяного газа – в газовой фазе после проведения реакции установлено присутствие CO_2 . Дальнейшее повышение температуры вызывает резкий рост выхода этилбензола и, соответственно, снижение выхода кислот. При температуре 150 °С выход кислот составляет 43 %, а выход этилбензола 36 % при полной конверсии субстрата (рис. 1).

Полученные результаты позволяют предположить, что при температурах выше 120–130 °С меняется строение каталитической системы. Вероятно, при

Таблица 1

Влияние давления на карбоксилирование стирола в среде ТВАВ/гептан в присутствии каталитической системы 0,5 % $\text{PdCl}_2(\text{PPh}_3)_2$ – 40 % HCl , Т 110 °С [9]

<i>p</i> , МПа	Конверсия стирола (%)	Выход (%)			
		1	2	Всего кислот	Этилбензол
1,0	45,7	9,2	28,1	37,3	1,3
1,5	52,2	16,3	31,2	47,5	2,2
2,0	56,5	26,2	23,1	49,3	0,9
5,0	91,3	53,1	25,0	78,1	2,2
7,0	97,8	66,1	24,6	90,7	0,0

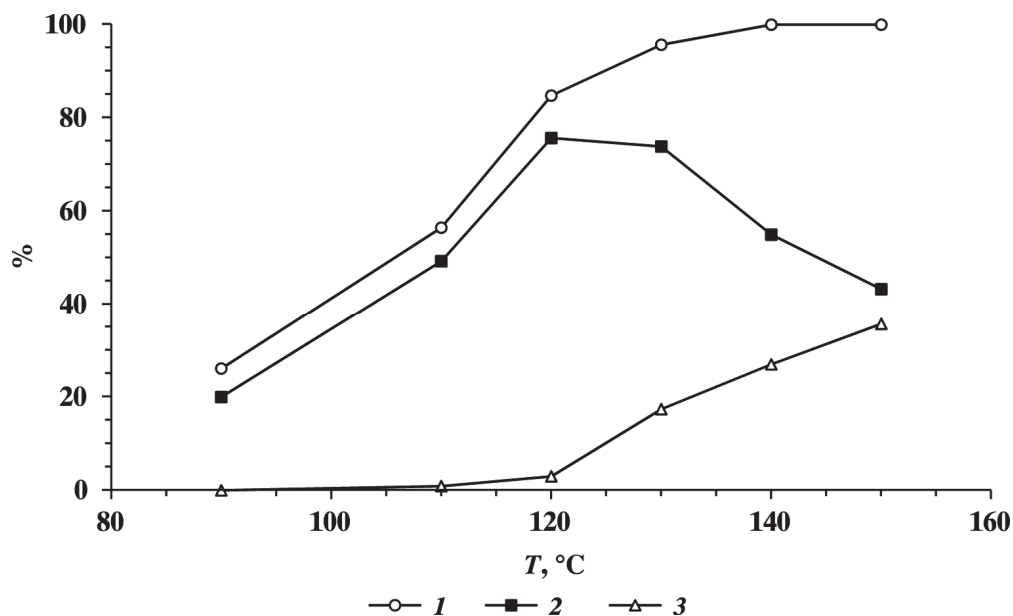


Рис. 1. Влияние температуры на карбоксилирование стирола в присутствии каталитической системы 0,5 % $\text{PdCl}_2(\text{PPh}_3)_2$ – 40 % HCl , p 2,0 МПа:

1 – конверсия стирола; 2 – выход кислот; 3 – выход этилбензола

этом разрушается каталитический комплекс и выпадает металлический палладий. Об этом свидетельствует и резкое усиление гидрирующей способности катализатора.

Наиболее интересным результатом оказался тот факт, что в данном случае фосфиновый лиганд не является необходимым компонентом каталитической системы, в отличие от большинства известных методик карбонилирования в стандартных растворителях [14]. Использование ацетата палладия как каталитического предшественника также позволило получить с высокими выходами продукты карбонилирования. Более того, «безлигандный» Pd более активен, чем палладий-фосфиновые комплексы. Комплексы с бидентатными фосфинами $\text{PdCl}_2(\text{dppe})$ и $\text{PdCl}_2(\text{dppb})$ менее активны, чем $\text{PdCl}_2(\text{PPh}_3)_2$ [9].

Обычно региоселективность определяется природой аниона ИЖ и наличием фосфинового лиганда [11]. Замена хлорида на бромид приводит к значительному повышению селективности по гидратроповой кислоте (табл. 2).

Каталитическая система $\text{Pd}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ – кислотный промотор – ТВАВ оказалась пригодна также и для получения высших жирных кислот из алифатических олефинов [10], что имеет важное практическое значение. Их реакционная способность закономерно снижается при увеличении числа заместителей при двойной связи (табл. 3).

Таблица 2

Карбоксилирование стирола. Условия: 4 ммоль стирола; 20 ммоль H₂O; 0,02 ммоль [Pd]; 0,8 ммоль TsOH·H₂O; 2 г ИЖ; 5 мл гептана; T 110 °C, p 5,0 МПа; 2 ч [15]

Катализатор	ИЖ ^a	Конверсия, %	Выход кислот, %	изо/н
Pd(OAc) ₂	ТВАВ	97,1	87,2	0,8
Pd(OAc) ₂ ^b	ТВАВ	93,5	83,0	1,0
Pd(OAc) ₂	ТВАС	22,2	16,0	6,3
Pd(OAc) ₂	[bmim][Br]	60,8	52,3	0,4
PdCl ₂ (PPh ₃) ₂	ТВАВ	33,3	29,2	1,0
PdCl ₂ (PPh ₃) ₂ ^b	ТВАВ	76,1	69,2	1,4
PdCl ₂ (PPh ₃) ₂	ТВАС	100	89,5	7,2
PdCl ₂ (PPh ₃) ₂	[bmim][Br]	12,9	9,7	1,0
PdCl ₂ (PPh ₃) ₂	[bmim][Cl]	26,2	21,6	10,4

^aТВАС = тетрабутиламмонийхлорид, bmim = 1-бутил-3-метилимидазолий, ^bHCl в качестве промотора.

При карбонилировании этилена получена пропионовая кислота или ее эфиры в зависимости от выбора нуклеофила (вода либо спирты) [15].



R = H, Alk

Оказалось, что Pd(CH₃COO)₂ почти в четыре раза более активен в среде ТВАВ, чем стандартный фосфиновый комплекс PdCl₂(PPh₃)₂. Родиевые катализаторы в целом менее активны, но в их присутствии сохраняется та же зако-

Таблица 3

Карбоксилирование олефинов. Условия: 4 ммоль олефина; 20 ммоль H₂O; 0,02 ммоль [Pd]; 0,8 ммоль промотора, 2 г ТВАВ; T 110 °C; p 5,0 МПа; 2 ч [10]

Олефин	Кислотный промотор	Конверсия, %	Выходы кислот, %			Селективность по кислотам, %		
			линейная	α-метил-замещенная	Всего	линейной	α-метил-замещенной	Общая
Гептен-1	HCl	100	41,8	40,0	91,1	41,8	40,0	91,1
Октен-1	HCl	100	42,2	38,2	88,4	42,2	38,2	88,4
Октен-2	HCl	86,2	14,9	42,9	81,9	17,3	49,8	95,0
Нонен-1	HCl	98,6	42,4	38,4	91,1	43,0	38,9	92,4
Децен-1	HCl	99,7	44,2	37,8	90,5	44,3	37,9	90,8
Децен-1	TsOH	98,6	41,0	34,0	86,0	41,6	34,5	87,2
Гексадецен-1	HCl	97,4	37,6	39,8	88,9	38,6	40,9	91,3
Тетрадецен-7	HCl	61,8	—	55,9*	57,2	—	90,5*	92,6
Тетрадецен-7	TsOH	55,3	—	47,5*	49,5	—	85,9*	89,5
Стирол**	HCl	93,5	41,0	42,0	83,0	43,9	44,9	88,8

*α – гексилпеларгоновая кислота.

**В реакционную смесь было добавлено 5 мл гептана.

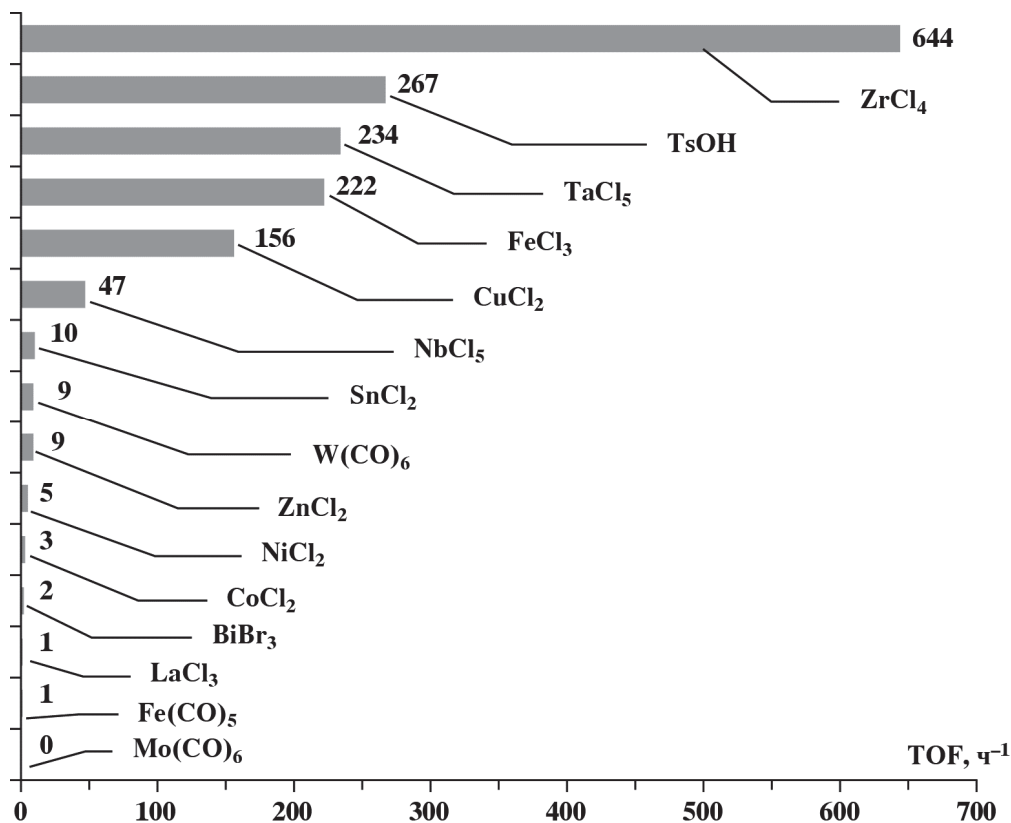


Рис. 2. Влияние промотора на скорость реакции гидроксикарбонилирования этилена.

Условия: 11 ммоль BuOH; 4,5 мкмоль Pd(CH₃COO)₂; $p_{C_2H_4} = p_{CO} = 1,0$ МПа; T 110 °С [14]

номерность – добавление фосфина снижает скорость реакции. Скорость реакции возрастает с увеличением молекулярной массы нуклеофила в ряду MeOH < EtOH < BuOH. Однако H₂O выпадает из этого ряда – скорость гидроксикарбонилирования этилена близка к скорости бутоксикарбонилирования, то есть карбонилирования в присутствии бутанола. По-видимому, эти результаты объясняются различной летучестью использованных нуклеофильных агентов [15].

Природа промотора оказывает значительное влияние на скорость карбоксилирования этилена. Наиболее эффективен в качестве промотора ZrCl₄, значительно ему уступают TsOH, TaCl₅, FeCl₃ (рис. 2).

Устойчивость «безлигандного» Pd в среде ТВАВ объясняется, по-видимому, образованием наноразмерной взвеси металлического Pd (рис. 3). Стабильность этой системы обусловлена, по нашим наблюдениям, следующими факторами:

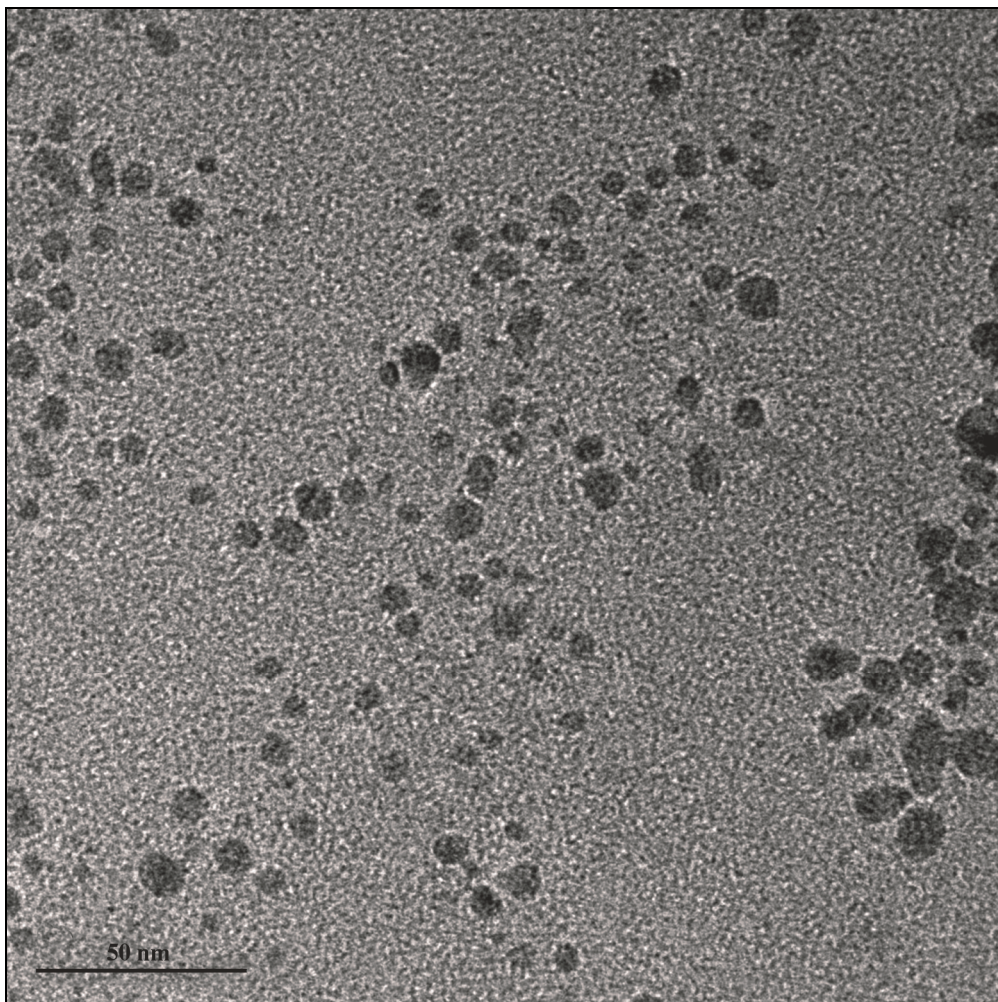


Рис. 3. Микрофотография реакционной массы гидроксикарбонилирования додецена-1 в среде ТВАВ (ПЭМ)

- Наличие бромид-аниона в составе ИЖ. «Безлигандный» Pd удерживается в расплавах ТВАВ и [bmim]Br, в то время как в тетрабутиаммонийхлориде, [bmim]Cl, [bmim]BF₄, [bmim]PF₆ наблюдается выпадение палладиевой черни.
- Кислая или нейтральная реакционная среда. При добавлении основания, например третичного амина, выпадает Pd-чернь.
- Присутствие в системе олефина. По-видимому, олефин также принимает участие в стабилизации суспензий Pd, поскольку без него наночастицы не образуются.

Расширяя сферу применения предложенной методики карбонилирования, мы осуществили каталитические синтезы карбоновых кислот из спиртов [11, 16, 17].

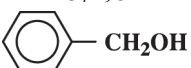
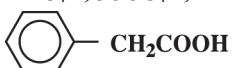
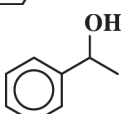
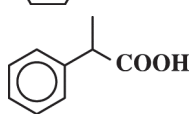
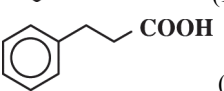
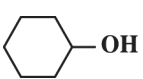
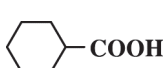
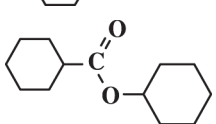
Нами впервые показано, что карбоновые кислоты могут быть получены карбонилированием спиртов в присутствии бесфосфиновой каталитической системы $\text{Pd}(\text{OAc})_2/\text{TsOH}$ в расплаве NBu_4Br . Показано, что в реакцию вступают первичные и вторичные спирты, алифатические и 1-фенилзамещенные. Реакции метанола, 1-фенилэтанола и бензилового спирта протекают гладко с выходами карбоновых кислот 65–87 %. В карбонилировании *n*-бутанола с выходом 66 % образуется бутиловый эфир валериановой кислоты. Конверсия циклогексанола составила всего 13 % за 2 ч, причем образовывались почти равные количества циклогексанкарбоновой кислоты и ее эфира.

Добавление воды к исходной смеси не привело к увеличению выхода карбоновой кислоты (табл. 4).

Карбонилирование 1-фенилэтанола было изучено подробно, поскольку один из продуктов, гидратроповая кислота (**1**), является структурным фрагментом распространенного анальгетика ибупрофена и его аналогов. Предложена схема превращений (рис. 4), включающая два параллельных маршрута: дегидратацию фенилэтанола с последующим карбоксилированием стирола (**A**) и замещение гидроксила в фенилэтаноле на галоид с заместительным карбонилированием последнего (**B**). Схема объясняет основные закономерности ре-

Таблица 4

Карбонилирование спиртов в каталитической системе 0,5 % $\text{Pd}(\text{OAc})_2$ / 20 % TsOH / TBAB , T 110 °C; p 5 МПа; 2 ч [18]

Спирт	Конверсия, %	Продукт	Выход, % (ГЖХ)
CH_3OH	73	CH_3COOH	65
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	32	$\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$	19
		$\text{C}_2\text{H}_5\text{COOC}_2\text{H}_5$	9
$n\text{-C}_4\text{H}_9\text{OH}$	73	$\text{C}_4\text{H}_9\text{COOC}_4\text{H}_9$	66
	98		87
	100		43,5
		(1)	
			44
		(2)	
	13		6
			5

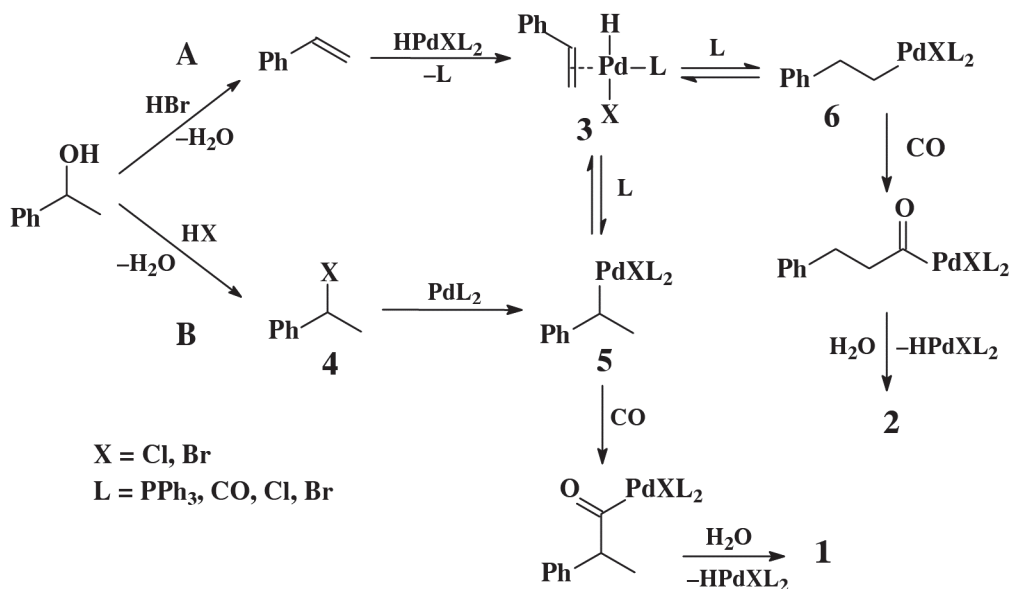


Рис. 4. Предлагаемая схема карбонилирования 1-фенилэтанола

акции, включая влияние давления и природы лигандов в координационной сфере Pd на скорость реакции и региоселективность [11, 16].

Таким образом, использование ИЖ в качестве реакционной среды в карбонилировании позволяет в ряде случаев обойтись без применения фосфиновых лигандов. Причина устойчивости «безлигандного» Pd в среде ИЖ заключается, по-видимому, в формировании наноразмерных суспензий металла, стабилизированных вследствие взаимодействия с ионами ИЖ. Рецикл гомогенного катализатора в таких каталитических системах осуществляется весьма просто путем экстракции продуктов реакции. При этом Pd катализатор остается в расплаве ИЖ и может быть использован многократно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Липидус А.Л., Пирожков С.Д. Каталитический синтез органических соединений, карбонилирование непредельных углеводородов и спиртов//Успехи химии. – 1989. – Т. 58. – № 2. – С. 197–233.
2. Gordon C.M. New developments in catalysis using ionic liquids//Applied Catalysis A: General. – 2001. V. 222. – P. 101–117.
3. Olivier-Bourbigou H., Magna L. Ionic liquids: perspectives for organic and catalytic reactions//J. Mol. Catal. A: Chem. – 2002. – V. 182–183. – P. 419–437.
4. Wasserscheid P., Welton T. (Eds.) Ionic Liquids in Synthesis. Wiley-VCH, Weinheim, 2002. – 355 p.
5. Welton T. Ionic liquids in catalysis//Coord. Chem. Rev. – 2004. – V. 248. – P. 2459–2477.
6. Zhang Z.C. Catalysis in Ionic Liquids//Adv. Catal. – 2006. – V. 49. – P. 153–237.

7. Liu S., Xiao J. Toward green catalytic synthesis – Transition metal-catalyzed reactions in non-conventional media//J. Mol. Catal. A: Chemical. – 2007. – V. 270. – P. 1–43.
8. Ranke J., Stolte S., Stormann R., Arning J., Jastorff B. Design of Sustainable Chemical Products The Example of Ionic Liquids//Chem. Rev. – 2007. – V. 107. – P. 2183–2206.
9. Липидус А.Л., Елисеев О.Л., Стёпин Н.Н., Бондаренко Т.Н. Карбоксилирование стирола в системе $N(C_4H_9)_4Br$ /гептан//Известия Академии Наук, Сер. Химия. – 2004. – № 11. – С. 2458–2461.
10. Елисеев О.Л., Стёпин Н.Н., Бондаренко Т.Н., Липидус А.Л. Бесфосфиновая каталитическая система для карбоксилирования олефинов оксидом углерода//ДАН. – 2005. – Т. 401. – № 4 – С. 486–488.
11. Lapidus A., Eliseev O., Bondarenko T., Stepin N. Palladium catalysed hydroxycarbonylation of 1-phenylethanol in molten salt media//J. Mol. Catal. A: Chemical. – 2006. – V. 252. – P. 245–251.
12. Zim D., de Souza R.F., Dupont J., Monteiro A.L. Regioselective synthesis of 2-arylpropionic esters by palladium-catalyzed hydroesterification of styrene derivatives in molten salt media//Tetrahedron Lett. – 1998. – V. 39. – P. 7071–7074.
13. Jang E.J., Lee K.H., Lee J.S., Kim Y.G. Regioselective synthesis of ibuprofen via the palladium complex catalyzed hydrocarboxylation of 1-(4-isobutylphenyl) ethanol//J. Mol. Catal. A: Chemical. – 1999. – V. 138. – P. 25–36.
14. Parshall G.W., Ittel S.D. Homogeneous Catalysis., 2nd Edition. Wiley, New York, 1992. – P. 100.
15. Lapidus A.L., Eliseev O.L., Bondarenko T.N., Chau N.H. Hydroxy- and Alkoxy-carbonylation of Ethylene in Molten Salt Medium//DGMK/SCI-Conference «Production and Use of Light Olefins», September 28–30, 2009. Dresden, Germany. Proceedings, p. 225–231.
16. Eliseev O.L., Bondarenko T.N., Stepin N.N., Lapidus A.L. Carbonylation of alcohols in the $Pd(OAc)_2/TsOH$ /molten salt system//Mendeleev Commun. – 2006. – V. 16. – P. 107–109.
17. Lapidus A.L., Eliseev O.L., Bondarenko T.N., Chau N.H. Hydroxycarbonylation of benzylic derivatives in ionic liquid media//DGMK/SCI-Conference «Future Feedstocks for Fuels and Chemicals». September 29 – October 1, 2008. Berlin, Germany. Proceedings, p. 249–256.

REFERENCES

1. Lapidus A.L., Pirozhkov S.D. Catalytic synthesis of organic compounds by carbonylation of unsaturated hydrocarbons and alcohols. Uspekhi Khimii, 1989, v. 58, no. 2, p. 197–233 (in Russian).
2. Gordon C.M. New developments in catalysis using ionic liquids. Applied Catalysis A: General, 2001, v. 222, p. 101–117.
3. Olivier-Bourbigou H., Magna L. Ionic liquids: perspectives for organic and catalytic reactions. J. Mol. Catal. A: Chem, 2002, v. 182–183, p. 419–437.
4. Wasserscheid pp., Welton T. (Eds.) Ionic Liquids in Synthesis. Wiley-VCH, Weinheim, 2002, 355 p.
5. Welton T. Ionic liquids in catalysis. Coord. Chem. Rev, 2004, v. 248, p. 2459–2477.
6. Zhang Z.C. Catalysis in Ionic Liquids. Adv. Catal, 2006, v. 49, p. 153–237.
7. Liu S., Xiao J. Toward green catalytic synthesis – Transition metal-catalyzed reactions in non-conventional media. J. Mol. Catal. A: Chemical, 2007, v. 270, p. 1–43.
8. Ranke J., Stolte S., Stormann R., Arning J., Jastorff B. Design of Sustainable Chemical Products The Example of Ionic Liquids. Chem. Rev., 2007, v. 107, p. 2183–2206.
9. Lapidus A.L., Eliseev O.L., Stepin N.N., Bondarenko T.N. Carboxylation of styrene in the $N(C_4H_9)_4Br$ – heptane system. Russ. Chem. Bull., 2004, no. 11, p. 2564–2567.
10. Eliseev O.L., Stepin N.N., Bondarenko T.N., Lapidus A.L. Phosphine-Free Catalytic System for the Carboxylation of Olefins with Carbon Oxide. Doklady Chemistry, 2005, v. 401, part 2, p. 59–61.
11. Lapidus A., Eliseev O., Bondarenko T., Stepin N. Palladium catalysed hydroxycarbonylation of 1-phenylethanol in molten salt media. J. Mol. Catal. A: Chemical, 2006, v. 252, p. 245–251.

12. Zim D., de Souza R.F., Dupont J., Monteiro A.L. Regioselective synthesis of 2-arylpropionic esters by palladium-catalyzed hydroesterification of styrene derivatives in molten salt media. *Tetrahedron Lett*, 1998, v. 39, pp. 7071–7074.
13. Jang E.J., Lee K.H., Lee J.S., Kim Y.G. Regioselective synthesis of ibuprofen via the palladium complex catalyzed hydrocarboxylation of 1-(4-isobutylphenyl) ethanol. *J. Mol. Catal. A: Chemical*, 1999, v. 138, pp. 25–36.
14. Parshall G.W., Ittel S.D. *Homogeneous Catalysis*, 2nd Edition. Wiley, New York, 1992, p. 100.
15. Lapidus A.L., Eliseev O.L., Bondarenko T.N., Chau N.H. Hydroxy- and Alkoxy-carbonylation of Ethylene in Molten Salt Medium. DGMK/SCI-Conference «Production and Use of Light Olefins». September 28–30, 2009. Dresden, Germany. Proceedings, p. 225–231.
16. Eliseev O.L., Bondarenko T.N., Stepin N.N., Lapidus A.L. Carbonylation of alcohols in the Pd(OAc)₂/TsOH/molten salt system. *Mendeleev Commun*, 2006, v. 16, p. 107–109.
17. Lapidus A.L., Eliseev O.L., Bondarenko T.N., Chau N.H. Hydroxycarbonylation of benzylic derivatives in ionic liquid media. DGMK/SCI-Conference «Future Feedstocks for Fuels and Chemicals». September 29 – October 1, 2008. Berlin, Germany. Proceedings, p. 249–256.

Олег Леонидович ЕЛИСЕЕВ родился в 1967 г., окончил РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина в 1991 г., аспирантуру в 1994 г. Старший научный сотрудник Института органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, также доцент кафедры газохимии в РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. Автор 50 научных работ в области органической химии, катализа, нефтехимии.

Oleg L. ELISEEV (b. 1967) graduated from the Gubkin State University in 1991, post-graduate courses in 1994. Senior researcher in Zelinsky Institute of organic chemistry, docent at Gubkin State University. Author of 50 publications in the field of organic chemistry, catalysis, petrochemistry.

E-mail: oleg@server.ioc.ac.ru

Альберт Львович ЛАПИДУС родился в 1933 г., окончил Московский институт тонкой химической технологии им. М. В. Ломоносова в 1957 г., аспирантуру в 1963 г. Доктор наук, профессор, чл.-корр. Российской академии наук, с 1999 г. заведующий кафедрой РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. Автор более 600 научных трудов в области катализа, нефтехимии, углехимии.

Al'bert L. LAPIDUS (b. 1933) graduated from the Moscow Institute of Fine Chemical technology in 1957, post-graduate courses in 1963. Doctor of sciences, professor, correspondent member of RAS, Head of Chair in Gubkin State University since 1999. Author of more 600 publications in the field of catalysis, petrochemistry, coal chemistry.

E-mail: albert@server.ioc.ac.ru