

50 °С, 0,5 МПа Н<sub>2</sub>). В процессе реакции отбирались пробы, которые были анализированы при помощи ГХ.

Было обнаружено, что катализаторы, нанесенные на модифицированные носители, проявляют большую активность в сравнении с немодифицированным сибунитом. Так, на катализаторах Pd/Ср–HNO<sub>3</sub> и Pd/Ср–NH<sub>4</sub>OH была достигнута конверсия 97% уже через 3 часа после начала процесса, в то время как на Pd/Ср конверсия через 5 часов составила 80% (таблица 1).

Для катализаторов Pd/Ср и Pd/Ср–HNO<sub>3</sub> характерен более высокий выход продуктов реакции, однако, как видно из таблицы, весо-

мую часть составляет изопропилфурфуриловый эфир, который является нежелательным продуктом. Вероятно, это связано с наличием большого количества кислотных центров на поверхности катализатора, из-за чего происходит реакция этерификации между фурфуролом и изопропанолом. Напротив, количество продуктов, полученных на Pd/Ср–NH<sub>4</sub>OH сравнительно мало, но при этом практически не образуется эфир, а селективность по тетрагидрофурфуриловому спирту и 2-метилтетрагидрофурану наиболее высоки, что говорит о гидрировании фуранового кольца и соответственно наиболее сильном взаимодействии металла с субстратом.

### Список литературы

1. Roman-Leshkov Y., Chheda J.N., Dumesic J.A. // *Science*, 2006.– P.1933–1937.

## ВЛИЯНИЕ РЕАКЦИОННЫХ УСЛОВИЙ И РАЗМЕРА НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА НА КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ В ЖИДКОФАЗНОМ ОКИСЛЕНИИ БЕТУЛИНА

А.Р. Григорьева<sup>1</sup>, Е.Н. Колобова<sup>1</sup>, S.A.C. Carabineiro<sup>2</sup>, P. Mäki-Arvela<sup>3</sup>, D.Yu. Murzin<sup>3</sup>  
 Научный руководитель – д. х. н., профессор А.Н. Пестряков

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, bar0710@mail.ru

<sup>2</sup>Centro de Química Estrutural, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal

<sup>3</sup>Johan Gadolin Process Chemistry Centre, Abo Akademi University, FI-20500 Turku, Finland

Береза широко распространена по всему миру в зонах умеренного климата. Основным компонентом ее коры является бетулин. В настоящее время особый интерес представляют оксопроизводные бетулина, поскольку они обладают широким спектром фармакологической активности, и активно изучается их эффективность в качестве противораковых и противовирусных соединений. Традиционно оксопроизводные бетулина получают его окислением хромсодержащими соединениями, однако данный подход характеризуется образованием большого количества токсичных отходов и низким выходом целевых продуктов [1]. Нами предложен альтернативный способ получения оксопроизводных бетулина посредством его гетерогенно-каталитического окисления кислородом воздуха на нанесенных золотых катализаторах при атмо-

ферном давлении и относительно низкой температуре.

Катализаторы (номинальная загрузка Au составляла 4 мас. %) были приготовлены методом контролируемого осаждения с мочевиной. Полученные образцы были охарактеризованы следующими методами: БЭТ, РФА, РФЭС, ПЭМ.  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и бемит с различными текстурными свойствами были использованы в качестве носителей. Каталитические свойства были изучены в процессе жидкофазного окисления бетулина при 140 °С (растворитель – мезитилен, окислитель – синтетический воздух). Для контроля за ходом реакции через определенные промежутки времени отбирались аликвоты и анализировались ГХ.

Было обнаружено, что природа носителя играет решающую роль в окислении бетулина

Таблица 1. Результаты каталитических исследований

Катализатор	Конверсия бетулина (%)	$\Sigma Y_{\text{product}}$ (%)	Селективность					TOF ( $\text{c}^{-1}$ )	$d_{\text{Au}}$ (нм)
			$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$		
Au/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> _V	97	57	29	64	0	0	7	0,549	3,1
Au/AlOOH	90	62	40	48	0	0	12	0,469	3,7
Au/AlOOH_S	74	56	56	21	0	0	23	0,185	4,2
Au/AlOOH_C	77	69	47	34	0	2	17	0,263	2,9
Au/AlOOH_L	97	62	35	56	0	0	9	0,533	3,2

Примечание:  $C_1$  – селективность по бетулолу (%);  $C_2$  – селективность по бетулоновому альдегиду (%);  $C_3$  – селективность по бетулоновой кислоте (%);  $C_4$  – селективность по бетулиновому альдегиду (%);  $C_5$  – селективность по бетулиновой кислоте (%);  $\Sigma Y_{\text{product}}$  – суммарный выход продуктов (%);  $d_{\text{Au}}$  – средний размер наночастиц золота (нм).

на нанесенных золотых катализаторах, что выражается во влиянии носителя на средний размер и распределение наночастиц золота и, тем самым, на каталитические свойства (активность и селективность) золотосодержащих систем (таблица 1). Наибольшая конверсия бетулина 97% за 6 ч была достигнута для Au/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\_V и Au/AlOOH\_L, имеющих практически одинаковый средний размер наночастиц золота, однако отличающихся фазовым составом носителя, а именно  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и бемит. Однако за счет протекания побочных реакций олигомеризации и полимеризации на поверхности катализаторов выход продуктов для этих образцов составил 57 и 62%, соответственно. В тоже время, для Au/AlOOH\_C с более низким уровнем конверсии бетулина 77%, но самым высоким закрытием баланса

массы среди исследованных катализаторов, был достигнут самый высокий выход продуктов 69%. Кроме того, было выявлено, что окисление бетулина, катализируемое золотом, является структурно-чувствительной реакцией, требующей оптимального размера наночастиц золота около 3,3 нм.

Кинетические исследования (начальная концентрация бетулина, концентрация кислорода, температура, загрузка катализатора) позволили определить порядок реакций (по бетулину выше нуля и нулевой по кислороду) и условия, благоприятные для селективного образования определенного оксопроизводного бетулина (бетулон, бетулиновый и бетулоновый альдегиды, бетулиновая кислота).

### Список литературы

1. Tolstikov G.A. // *Chem. Sustainable Dev.*, 2005.– P.1–29.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ В КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТАХ МЕТОДОМ ТВЕРДОФАЗНОЙ СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ

А.А. Дудкина<sup>1</sup>, А.А. Дамзина<sup>2</sup>, Н.С. Трифонова<sup>2</sup>  
Научный руководитель – д.х.н., профессор М.А. Гавриленко

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, glenke@tpu.ru

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 36, dce@mail.tsu.ru

В мировой практике производства продуктов питания широко применяют синтетические красители (СК) вследствие их устойчивости к изменениям температуры и рН среды, стабильности при действии света и дешевле натураль-

ных красителей. СК могут быть использованы индивидуально или в комбинации, но индивидуальная концентрация не может превышать определенный уровень, который для большинства красителей варьируется от 2 до 100 мг/кг [1, 2].