



**Конкурс работ молодых ученых «Просто о сложном»  
Научно-популярная статья призера II степени Голодухиной Светланы  
Владимировны (студент 5 курса, МГУ имени М.В.Ломоносова,  
г. Москва)**

**Первый дым комом<sup>1</sup>**



**При чем тут «первый дым»?**

Пока люди используют ископаемое топливо, разговоры о загрязнении воздуха не утихнут. Конечно, нельзя недооценивать усилий производителей автомобилей и топлива, направленных на уменьшение количества выделяемых транспортом вредных веществ. В современных инжекторных двигателях минимизировано количество выбрасываемого в атмосферу несгоревшего топлива – углеводородов, являющихся парниковыми газами более опасными, чем углекислый газ. Жесткие требования к качеству топлива привели к уменьшению количества выделяемых оксидов серы, приводящих к кислотным дождям.

Но уменьшить проблему не значит её устранить. В выхлопном газе всё еще содержится примесь очень вредных веществ: угарный газ (CO), несгоревшие углеводороды – остатки топлива, оксид азота. Глубоко очистить выхлопной газ помогает автомобильный катализатор. Горячие газы, поступающие от двигателя, при высокой температуре (около 400°C) взаимодействуют на поверхности активного вещества катализатора, при этом почти все вредные вещества нейтрализуются. Вот только пока катализатор не разогреется, никакой

<sup>1</sup> Научно-популярная статья основана на материалах публикаций:

1. A. V. Egorysheva, O.G. Ellert, E.Y. Liberman, D.I. Kirdyankin, **S. V. Golodukhina**, O.M. Gajtko, R.D. Svetogorov, Synthesis and characterization of new isostructural series  $\text{LnFe}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{O}_6$  (Ln = La-Sm) exhibiting high catalytic activity in CO oxidation, J. Alloys Compd. 777 (2019) 655–662. doi:10.1016/j.jallcom.2018.11.008.
2. Егорышева А.В., Берсенева А.А., Либерман Е.Ю., Медведева С.А., Подъельникова Е.С., Кирдянкин Д.И., Гайтко О.М., Эллерт О.Г., Сложные оксиды РЗЭ со структурой  $\text{Pb}_2\text{SbO}_6$  - новые гетерогенные катализаторы в реакциях окисления СО. Тезисы симпозиума Современная химическая физика, г. Туапсе 16-27 сентября 2018 г, Москва, с. 172-172.
3. A.V. Egorysheva, O.G. Ellert, O.M. Gajtko, A.A. Berseneva, Y.V. Maksimov, R.D. Svetogorov, Subsolidus phase equilibria in the  $\text{La}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Sb}_2\text{O}_5$  system and characterization of layered ternary oxide  $\text{LaFe}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{O}_6$ , Ceram. Int. 42 (2016) 13976–13982. doi:10.1016/j.ceramint.2016.05.211.

очистки выхлопов не происходит. На некоторых автомобилях предусмотрен разогрев катализатора электричеством (от легко разряжающегося на морозе аккумулятора) или за счет увеличения оборотов двигателя в первую минуту работы.

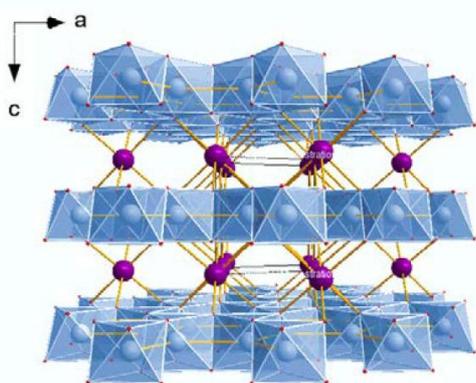
Представьте, сколько лишней энергии ушло бы на разогрев катализатора, допустим, автобуса на гибридной тяге, использующего то двигатель внутреннего сгорания, то электродвигатель, если при каждой смене режима работы катализатор успеет остыть? А если не разогревать, то при каждом включении двигателя в воздух поступит новая порция ядовитых веществ.

### Как теперь жить-то?

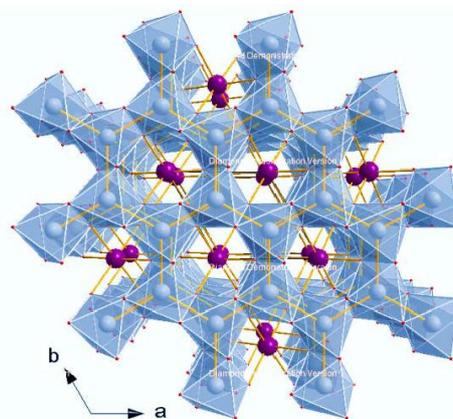
Чтобы не выбирать между затратами энергии на разогрев катализатора и выбросом неочищенных выхлопных газов ученым приходится искать всё новые катализаторы, начинающие работать при как можно более низких температурах. Соответственно качество катализаторов сравнивают по температурам, при которых они нейтрализуют 50 или 100% вредных веществ. На сегодняшний день лучшие катализаторы содержат наночастицы благородных металлов: платины, палладия, иридия и других. Их содержание может достигать 1% массы всего катализатора и составлять значительную долю его стоимости... А значит при создании катализатора приходится бороться еще и с высокой стоимостью активного вещества. Чтобы уменьшить содержание драгметаллов, изменяют носитель наночастиц: остальные 99%, которые не должны быть мертвым грузом!

### Мы сделали это!

Коллективом ученых из РХТУ им. Менделеева, Института общей и неорганической химии РАН и НИЦ «Курчатовский институт» была разработана серия новых материалов, обладающий каталитической активностью. Их состав, соответствует химической формуле  $\text{LnFe}_{0,5}\text{Sb}_{1,5}\text{O}_6$ , где Ln – атом лантаноида: лантана, церия, празеодима неодима или самария. Расположение атомов этих веществ напоминает слои пчелиных сот: ионы сурьмы и железа (●), окруженные ионами кислорода (●) соединяются в плоскости, состоящие из шестичленных колец, а ионы редкоземельных элементов (●) находятся в полостях между слоями сот.



*На проекциях структуры новых катализаторов в двух направлениях видно послойное расположение атомов*



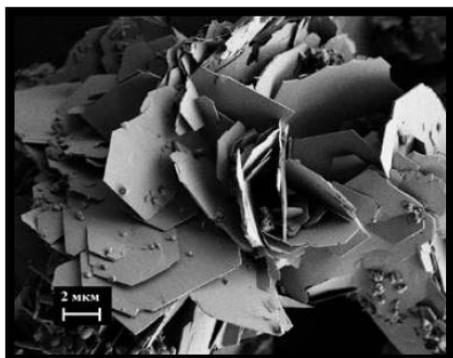
Эффективность этих катализаторов изменяется в зависимости от условий получения и того, какой редкоземельный элемент входит в его состав. Ионы лантаноидов похожи друг на друга по химическим свойствам, ион лантана лишь на 6% больше иона самария. Всего на 3,5% уменьшается расстояние между слоями «сот» в структуре катализатора. Но

температура, при которой катализатор нейтрализует 90% угарного газа увеличивается от 270°C (для катализатора, содержащего ионы лантана) до 430°C (при замене лантана на самарий).

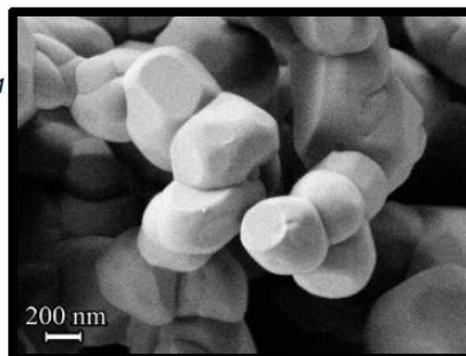
Но даже одно и те же вещество может оказаться плохим или хорошим катализатором в зависимости от способа его получения. Поскольку реакция нейтрализации опасных газов происходит на поверхности катализатора, то эффективность работы катализатора зависит от:

- наличия загрязнений или наоборот особых мест, удобных для захвата вредной молекулы;
- площади его поверхности;
- формы частиц катализатора.

Да, форма очень важна! Посмотрите на микрофотографии частиц катализатора, которые или выращивали в расплаве солей (слева), или получены спеканием твердых реагентов. При выращивании из расплава были получены красивые сросшиеся шестиугольные пластинки (помните, что атомы располагаются слоями из сот) и отвратительный катализатор в реакции окисления угарного газа.



*Микрофотографии порошка катализатора  $LaFe_{0.5}Sb_{1.5}O_6$ , синтезированных при спекании оксидов ← в расплаве солей ( $Na_2SO_4/K_2SO_4$ ) или на воздухе →*



Разработчики катализатора предположили, что в этой реакции играют важную роль грани частиц, перпендикулярные слоям «сот», которые составляют незначительную часть поверхности пластинчатых частиц, выращенных в расплаве, что негативно сказывается на каталитических свойствах вещества. Зато на круглых частицах, полученных спеканием реагентов разделение зарядов между ионами железа  $Fe^{+3}$ , сурьмы  $Sb^{+5}$  и кислорода  $O^{-2}$  позволяет легко окислять и угарный газ, и остатки топлива.

Вот так подбирают вещества, благодаря которым каждый сможет получить лишний глоточек чистого воздуха.