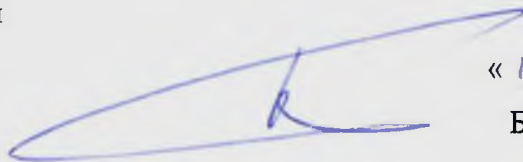


Директору Федерального  
государственного бюджетного  
учреждения науки  
Институт органической химии им.  
Н.Д. Зелинского РАН  
академику **М.П. Егорову**

Я, Брыляков Константин Петрович, профессор РАН, д.х.н., согласен быть официальным оппонентом диссертационной работы Галушко Алексея Сергеевича *«Исследование динамических трансформаций палладиевых наночастиц в гетерогенных каталитических системах Pd/C и роли одиночных поверхностных атомов палладия в реакциях кросс-сочетания»*, представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.04 – «Физическая химия» в диссертационный совет Д 002.222.02 при ИОХ им. Н.Д. Зелинского РАН.

Профессор РАН, д.х.н., профессор  
кафедры физической химии  
Факультета естественных наук  
ФГАОУ ВО  
«Новосибирский национальный  
государственный университет»  
(НГУ, г. Новосибирск)



« 19 » октября 2020 г.  
Брыляков К.П.

Подпись Брылякова К.П. заверяю:

Ученый секретарь Учёного совета НГУ, к.х.н.



## Сведения об официальном оппоненте

**1. ФИО оппонента:** Брыляков Константин Петрович

**2. Ученая степень и наименование отрасли науки, по которым им защищена диссертация:**

д.х.н., специальность 02.00.15 – Кинетика и катализ

**3. Список публикаций оппонента:**

1. Roman V. Ottenbacher, Denis G. Samsonenko, Evgenii P. Talsi, and Konstantin P. Bryliakov, Enantioselective Epoxidations of Olefins with Various Oxidants on Bioinspired Mn Complexes: Evidence for Different Mechanisms and Chiral Additive Amplification. // ACS Catalysis. 2016. Vol. 6, P. 979-988.

2. Zima, A. M.; Lyakin, O. Yu.; Ottenbacher, R. V.; Bryliakov, K. P.; Talsi, E. P. Dramatic Effect of Carboxylic Acid on the Electronic Structure of the Active Species in Fe(PDP)-Catalyzed Asymmetric Epoxidation. // ACS Catalysis. 2016. Vol. 6. P. 5399–5404.

3. Talsi, E. P., Rybalova, T. V., Bryliakov, K. P. Ti-salalen mediated asymmetric epoxidation of olefins with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: Effect of ligand on the catalytic performance, and insight into the oxidation mechanism. // J. Mol. Catal. A. Chemical. 2016. Vol. 421, P. 131-137.

4. Soshnikov, I. E., Semikolenova, N. V., Bryliakov, K. P., Zakharov, V. A., Talsi, E. P. <sup>1</sup>H and <sup>2</sup>H NMR spectroscopic study of the ion pairs formed upon the activation of vanadium(III) α-diimine pre-catalyst with AlMe<sub>3</sub>/[Ph<sub>3</sub>C][B(C<sub>6</sub>F<sub>5</sub>)<sub>4</sub>] and MAO. // J. Mol. Catal. A. Chemical. 2016. Vol. 423. P. 333-338.

5. Ottenbacher, R. V., Talsi, E. P., Bryliakov, K. P. Bioinspired Mn-aminopyridine catalyzed epoxidations of olefins with various oxidants: Enantioselectivity and mechanism. Catal. Today. 2016. Vol. 278. P. 30-39.

6. Antonov, A. A., Semikolenova, N. V., Talsi, E. P. Matsko, M. A., Zakharov, V. A., Bryliakov, K. P. 2-iminopyridine nickel(II) complexes bearing electron-withdrawing groups in the ligand core: Synthesis, characterization, ethylene oligo- and polymerization behavior. // J. Organomet. Chem. 2016. Vol. 822. P. 241-249.

7. Talsi, E. P., Bryliakov, K. P. Ti-Salan Catalyzed Asymmetric Sulfoxidation of Pyridylmethylthiobenzimidazoles to Optically Pure Proton Pump Inhibitors. // Catal. Today. 2017. Vol. 279. P. 84-89.

8. Bryliakov, K. P., Lokteva, E. S. EuropaCat XII: catalysis for Chemical Synthesis. Preface. // Catal. Today. 2017, Vol. 279. P. 1.

9. Zima, A. M., Lyakin, O. Yu., Ottenbacher, R. V., Bryliakov, K. P., Talsi, E. P. Iron-Catalyzed Enantioselective Epoxidations with Various Oxidants: Evidence for Different Active Species and Epoxidation Mechanisms. // ACS Catalysis. 2017. Vol. 7. P. 60–69.

10. Semikolenova, N. V., Sun, W. H., Soshnikov, I. E., Matsko, M. A., Kolesova, O. V., Zakharov, V. A., Bryliakov, K. P. Origin of "Multisite-like" Ethylene Polymerization Behavior of the Single-Site Nonsymmetrical Bis(imino)pyridine Iron(II) Complex in the Presence of Modified Methylaluminoxane. // ACS Catalysis. 2017. Vol. 7. P. 2868-2877.
11. Soshnikov, I. E., Semikolenova, N. V., Bryliakov, K. P., Zakharov, V. A., Talsi, E. P. Vanadium(III)-Catalyzed Polymerization of  $\alpha$ -Olefins: Detailed NMR Spectroscopic Characterization of Intermediates Modeling the Active Species of Polymerization. // ChemCatChem. 2017. Vol. 9, P. 1253-1260.
12. Talsi, E. P., Samsonenko, D. G., Bryliakov, K. P. Asymmetric Autoamplification in the Oxidative Kinetic Resolution of Secondary Benzylic Alcohols Catalyzed by Manganese Complexes. // ChemCatChem. 2017. Vol. 9. P. 2599-2607.
13. Talsi, E. P., Samsonenko, D. G., Ottenbacher, R. V., Bryliakov, K. P. Highly Enantioselective C-H Oxidation of Arylalkanes with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in the Presence of Chiral Mn Aminopyridine Complexes. // ChemCatChem. 2017. Vol. 9. P. 4580–4586.
14. Soshnikov, I. E., Semikolenova, N. V., Bryliakov, K. P., Zakharov, V. A., Talsi, E. P. Vanadium olefin polymerization catalysts: NMR spectroscopic characterization of V(III) intermediates. // J. Organomet. Chem. 2018. Vol. 867. P. 4-13.
15. Tkachenko, N. V., Lyakin, O. Y., Samsonenko, D. G., Talsi, E. P., Bryliakov, K. P. Highly efficient asymmetric aerobic oxidative coupling of 2-naphthols in the presence of bioinspired iron aminopyridine complexes. // Catal. Commun. 2018. Vol. 104. P. 112-117.
16. Zima, A. M., Lyakin, O. Y., Bryliakov, K. P., Talsi, E. P. Direct reactivity studies of non-heme iron-oxo intermediates toward alkane oxidation. // Catal. Commun. 2018. Vol. 108. P. 77-81.
17. Soshnikov I.E., Semikolenova N.V., Bryliakov K.P., Antonov A.A., Zakharov V.A., Talsi E.P. NMR spectroscopic identification of Ni(II) species formed upon activation of ( $\alpha$ -diimine)NiBr<sub>2</sub> polymerization catalysts with MAO and MMAO. // Dalton Trans. 2018. Vol. 47. P. 4968-4974.
18. Lyakin, O. Y., Zima, A. M., Tkachenko, N. V., Bryliakov, K. P., Talsi, E. P. Direct Evaluation of the Reactivity of Nonheme Iron(V)-Oxo Intermediates toward Arenes. // ACS Catal. 2018. Vol. 8. P. 5255-5260.
19. Talsi, E. P., Bryliakov, K. P. Autoamplification-Enhanced Oxidative Kinetic Resolution of sec-Alcohols and Alkyl Mandelates, and its Kinetic Model. // ChemCatChem. 2018. Vol. 10. P. 2693-2699.
20. Tkachenko, N. V., Lyakin, O. Y., Zima, A. M., Talsi, E. P., Bryliakov, K. P. Effect of different carboxylic acids on the aromatic hydroxylation with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in the presence of an iron aminopyridine complex. // J. Organomet. Chem. 2018. Vol. 871. P. 130-134.

21. Zima, A. M., Lyakin, O. Y., Bryliakov, K. P., Talsi, E. P. On the nature of the active intermediates in iron-catalyzed oxidation of cycloalkanes with hydrogen peroxide and peracids. // *Mol. Catal.* 2018. Vol. 455. P. 6-13.
22. Tkachenko, N. V., Ottenbacher, R. V., Lyakin, O. Y., Zima, A. M., Samsonenko, D. G., Talsi, E. P., Bryliakov, K. P. Highly Efficient Aromatic C-H Oxidation with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in the Presence of Iron Complexes of the PDP Family. // *ChemCatChem* 2018. Vol. 10. P. 4052-4057.
23. Ottenbacher, R. V., Talsi, E. P., Rybalova, T. V., Bryliakov, K. P. Enantioselective Benzylic Hydroxylation of Arylalkanes with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in Fluorinated Alcohols in the Presence of Chiral Mn Aminopyridine Complexes. // *ChemCatChem*. 2018. Vol. 10. P. 5323-5330.
24. Soshnikov, I. E., Semikolenova, N. V., Bryliakov, K. P., Antonov, A. A., Sun, W.-H., Talsi, E. P. EPR spectroscopic study of Ni(I) species in the catalyst system for ethylene polymerization based on  $\alpha$ -diimine Ni(II) complex activated by MMAO. // *J. Organomet. Chem.* 2019, Vol. 880. P. 267-271.
25. Antonov, A. A., Semikolenova, N. V., Talsi, E. P., Bryliakov, K. P. Catalytic ethylene oligomerization on cobalt(II) bis(imino)pyridine complexes bearing electron-withdrawing groups. // *J. Organomet. Chem.* 2019. Vol. 884. P. 55-58.
26. Zima, A. M., Lyakin, O. Y., Bryliakov, K. P., Talsi, E. P. High-Spin and Low-Spin Perferryl Intermediates in Fe(PDP) - Catalyzed Epoxidations. // *ChemCatChem*. 2019. Vol. 11. P. 5345-5352.
27. Talsi E.P., Bryliakova A.A., Ottenbacher R.V., Rybalova T.V., Bryliakov K.P. Chiral Autoamplification Meets Dynamic Chirality Control to Suggest Non-Autocatalytic Chemical Model of Prebiotic Chirality Amplification. // *Research*. 2019. Vol. 4756025. P. 1-9. DOI: 10.34133/2019/4756025.
28. Antonov, A. A., Semikolenova, N. V., Soshnikov, I. E., Talsi, E. P., Bryliakov, K. P. Selective Ethylene Dimerization into 2-Butenes Using Homogeneous and Supported Nickel(II) 2-Iminopyridine Catalysts. // *Top. Catal.* 2020. Vol. 63. P. 222-228.
29. Soshnikov, I. E., Semikolenova, N. V., Bryliakov, K. P., Antonov, A. A., Sun, W. H., Talsi, E. P. The nature of nickel species formed upon the activation of alpha-diimine nickel(II) pre-catalyst with alkylaluminum sesquichlorides. // *J. Organomet. Chem.* 2020. Vol. 907. P. 121063. DOI: 10.1016/j.jorganchem.2019.121063.
30. Ottenbacher, R. V., Talsi, E. P., Bryliakov, K. P. Highly enantioselective undirected catalytic hydroxylation of benzylic CH<sub>2</sub> groups with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. // *J. Catal.* 2020. Vol. 390. P. 170-177.

**4. Полное наименование организации, являющееся основным местом работы на момент написания отзыва:** Федеральное государственное автономное образовательное

учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (НГУ) (г. Новосибирск)

**5. Занимаемая должность:** Профессор РАН, профессор кафедры физической химии Факультета естественных наук

Почтовый адрес: 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2

Телефон: +7 (383) 363-40-20 (общий)

Электронный адрес: [bryliako@catalysis.ru](mailto:bryliako@catalysis.ru)

Профессор РАН, д.х.н., профессор

кафедры физической химии

Факультета естественных наук

ФГАОУ ВО

«Новосибирский национальный

государственный университет»

(НГУ, г. Новосибирск)

«15» октября 2020 г.

Брыляков К.П.

Подпись Брылякова К.П. заверяю:

Ученый секретарь Учёного совета НГУ, к.х.н.

Тарабан Е. А.



## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

**Галушко Алексея Сергеевича: «Исследование динамических трансформаций палладиевых наночастиц в гетерогенных каталитических системах Pd/C и роли одиночных поверхностных атомов палладия в реакциях кросс-сочетания»**

представленную на соискание учёной степени кандидата химических наук по специальности:

*02.00.04 – физическая химия*

В настоящее время катализ, как гомогенный, так и гетерогенный, стремительно превращается в точную дисциплину, не утрачивая при этом своей прикладной составляющей. Рост технической вооружённости, расширение экспериментальных и расчётных возможностей исследователя позволяют ставить всё более амбициозные задачи по характеристике катализаторов и установлению природы происходящих в ходе каталитической реакции превращений. Это относится как к достаточно привычным и «практическим» задачам изучения кинетики, выявления путей дезактивации каталитически активных центров, установления механизма реакции в целом, так и к менее традиционным – таким, как детальная характеристика активных центров каталитической реакции в режиме *in situ*, наблюдение и идентификация её интермедиатов и т.д., – решение которых до последнего времени не представлялось возможным в силу ограниченности исследовательского инструментария. Следует отметить, что решение подобных, на первый взгляд – частных, задач, в принципе, позволяет получить информацию и о механизме реакции, и о процессах дезактивации. Задачу, сформулированную в диссертационной работе А. С. Галушко – исследование природы и динамики эволюции активного компонента катализаторов класса Pd/C в ходе реакций C-C кросс-сочетания – следует относить именно к данному типу.

Комплексы палладия очень широко используются в катализе различных реакций кросс-сочетания, в связи с чем актуальность выбранного направления исследований несомненна. В то же время, гетерогенные катализаторы, применение которых с практической точки зрения заведомо является предпочтительным, как правило, демонстрируют более низкую каталитическую активность, чем гомогенные катализаторы. Целесообразным представляется нахождение некоторого разумного компромисса, который позволил бы создать катализаторы, сочетающие практические преимущества гетерогенных систем с высокой активностью металлокомплексных. Представленное автором исследование является шагом в данном направлении, позволяя выявить различные формы существования палладия на поверхности, установить особенности их эволюции и вклад в каталитическую реакцию и на основании этого сформулировать направления оптимизации подходов к приготовлению нанесённых катализаторов.

Диссертационная работа А. С. Галушко написана по традиционному плану. Она состоит из введения, трёх глав, выводов, списка сокращений и условных обозначений, списка благодарностей и списка использованной литературы. Работа изложена на 147

страницах, содержит 55 рисунков, 5 схем, 7 таблиц. Библиографический список цитируемой литературы включает 203 наименования.

Первая глава (литературный обзор) посвящена обсуждению имеющихся данных о динамических процессах (применительно к активному компоненту катализатора), протекающих в ходе реакций кросс-сочетания в присутствии гетерогенных (нанесённых) катализаторов, активным компонентом которых является палладий или его соединения. Рассматривается явление вымывания активного компонента гетерогенного катализатора в раствор – т.н. личинг и его основные типы, – а также влияние личинга на каталитическую реакцию. Кратко изложены принципы различных подходов к приготовлению нанесённых катализаторов, в том числе катализаторов с единичными атомами и субнанометровыми кластерами палладия. Литературный обзор даёт достаточно ясное представление об исследуемой области химии.

Во второй главе описаны методики синтеза используемых в работе органических соединений, углеродных и гибридных материалов, нанесения активного компонента на носители, а также проведения модельных каталитических реакций. Отражены применённые в работе физические и расчётные методы, описаны соответствующие методики. Кратко рассмотрены использованные методики пробоотбора. В целом, экспериментальная часть даёт необходимую информацию об используемых в работе экспериментальных и теоретических методах и подходах.

В третьей главе диссертации приводятся и обсуждаются полученные автором экспериментальные данные о динамике трансформаций наночастиц палладия на углеродных подложках.

В частности, обсуждается разработанная специально для данной задачи методика пробоподготовки, призванная избежать искажения информации за счёт предотвращения агломерации частиц палладия. Описано изготовление вспомогательного оборудования для пробоотбора методом трёхмерной печати.

Изложена информация о трансформациях наночастиц палладия в ходе реакций сочетания в случае гетерогенного и гомогенного предшественника катализатора, полученная методами ПЭМ и СЭМ. В том числе, представлены результаты отслеживания с помощью СЭМ и ПЭМ одних и тех же наночастиц палладия до и после проведения реакций Хека и Сузуки. Описаны три основных типа превращений наночастиц на подложке. Проведена косвенная оценка вклада отдельных атомов палладия в эффективность нанесённых катализаторов Pd/C. В частности, показано, что ответственными за катализ реакций C-C сочетания являются атомы палладия, смывающиеся с подложки в ходе реакции и ведущие гомогенно-каталитическую реакцию, в то время как более 99% палладия находится в форме наночастиц, которые в реакции не участвуют.

Описан синтез и характеристика ряда фосфор-допированных углеродных материалов из фосфор-гетероциклических соединений, которые были использованы в качестве носителей для приготовления палладий-содержащих катализаторов. Предполагалось, что наличие поверхностных атомов фосфора будет способствовать закреплению атомов палладия на поверхности носителя и препятствовать их вымыванию

в раствор. Вопреки ожиданиям, при многократном использовании катализаторы на основе обычных и фосфорсодержащих углеродных материалов теряли активность приблизительно в равной степени, что подтверждает вывод о преимущественном протекании каталитической реакции в жидкой фазе за счёт вымывания палладия в раствор.

Обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, обеспечена большим объёмом непротиворечивого экспериментального материала, квалифицированным использованием физико-химических методов исследования, грамотной и продуманной интерпретацией полученных результатов. Выводы достаточно полно отражают основное содержание работы. Достоверность выводов диссертации сомнений не вызывает.

**Новизна полученных результатов** заключается в том, что в работе впервые прямым наблюдением прослежено изменение формы и размера наночастиц палладия в ходе каталитических реакций кросс-сочетания. Показано, активность нанесённых катализаторов в реакциях Хека и Сузуки на 99% обеспечивается отдельными атомами и кластерами, а наночастицы размером более 2 нм практически неактивны. В ходе реакции отдельные атомы палладия способны вымываться с поверхности носителя в раствор и переосаждаться преимущественно на наночастицы, что приводит к увеличению размера последних. При этом каталитическая реакция идёт преимущественно в жидкой фазе, благодаря личингу отдельных атомов палладия в раствор. Таким образом, автор приходит к несколько непривычному для каталитиков выводу о том, что роль подложки «преимущественно заключается в сохранении и стабилизации частиц, способных переходить в раствор по ходу реакции». Строго говоря, рассмотренные реакции следует относить к гомогенно-каталитическим.

**Практическую ценность** может иметь полученное в результате выполненного исследования представление о вкладе различных форм существования палладия в ходе каталитических реакций C-C сочетания в присутствии нанесённых катализаторов (Pd/C). Это позволяет оптимизировать способы приготовления катализаторов, что будет способствовать как повышению каталитической активности, так и снижению содержания в катализаторах палладия (и соответственно, их стоимости). Самостоятельную ценность может представлять предложенная методика пробоотбора, которая за счёт закрепления наночастиц палладия на углеродных плёнках предотвращает их коагуляцию при высущивании и тем самым даёт возможность избежать искажения результатов.

По диссертационной работе и автореферату Галушко А. С. имеется ряд вопросов и замечаний.

1. В работе установлено, что в ходе реакции отдельные атомы палладия вымываются с поверхности носителя в раствор, ведут в растворе реакцию и впоследствии могут переосаждаться преимущественно на наночастицы, которые не проявляют каталитической активности (поскольку с их поверхности палладий в раствор не смывается). Представляется, что такая эволюция форм палладия в ходе реакции



объясняет основной путь дезактивации нанесённых катализаторов; несколько неожиданно, что автор не отразил этого в явном виде в выводах.

2. Из рисунка 38 (он же рис. 12 автореферата) автор делает вывод о том, что после однократного проведения реакции Сузуки на катализаторе Pd/NGC средний размер наночастиц палладия увеличивается с 3.8 до 4.6 нм. В то же время, на рисунке 38Г (после реакции) видно плоское распределение мелкой фракции наночастиц от 2.0 до 3.5 нм включительно. Более того, доля фракции 2 нм как будто даже несколько увеличивается после реакции. Следует ли это понимать как возможность существования разнонаправленных процессов трансформации наночастиц (укрупнение/измельчение)?
3. В разделе 3.2.2 автор указывает, что «По некоторым причинам атомы палладия имеют тенденцию концентрироваться вблизи наночастиц, а их плотность распределения уменьшается с увеличением расстояния от наночастицы». В дальнейшем выдвигается предположение о том, что «атомы палладия концентрируются в областях повышенной дефектности углеродного материала». Однако данная гипотеза в полной мере не объясняет наблюдаемого падения плотности распределения атомов с ростом расстояния от наночастицы. Такое падение представлялось бы естественным, если бы атомы палладия смывались с поверхности наночастицы и в дальнейшем мигрировали в направлении от её центра; однако, согласно представленным данным, этого не происходит, т.к. не происходит послойного растворения наночастиц. Данный вопрос представляется важным для понимания процессов, приводящих к распределению атомов, кластеров и наночастиц по поверхности носителя, поэтому хотелось бы услышать дополнительные комментарии.
4. Часть вывода 3 изложена недостаточно чётко: «...Наблюдалось, что наночастицы на поверхности углеродного материала претерпевают характерную эволюцию. Во время реакции соседние наночастицы имеют тенденцию к слиянию друг с другом.» После прочтения остаётся неясным, является ли второе предложение уточнением первого или самостоятельным утверждением. В последнем случае предложений про «характерную эволюцию» следовало либо уточнять, либо исключить из текста выводов.
5. Текст автореферата содержит некоторое количество ошибок, опечаток, неудачных выражений, терминологических неточностей и иных недочётов. В качестве соответствующих примеров можно привести следующее:
  - «Чаще всего в методе ПЭМ используется медная сетка диаметром 3,05 мм и покрытая с одной стороны тонким углеродным слоем» (стр. 7);
  - «С помощью методов электронной микроскопии оценка вклада отдельных атомов...» (стр. 4) – пропущено сказуемое; На рис. 2В обе кривые ДРС помечены одинаково «Съёмка 1»;
  - «...хорошие количественные конверсии реагентов...» (стр. 20), «Отдельные палладиевые атомы...» (стр. 25);

- Рис. 3А автореферата (он же 21А текста диссертации) называется «Кинетическая кривая...», однако на рисунке изображена не кинетическая кривая, а зависимость конверсии от времени;

- «Энергия сорбции варьируется в широком диапазоне -30,5...-140,7...» (стр. 7) не указана размерность; в Таблицах 2 и 3 «Сравнение активности палладиевых катализаторов...» в действительности указаны некоторые величины, измеренные в процентах, которые активностями быть не могут – по-видимому, это значения конверсии.

В одном случае вообще не удалось понять, о чём идёт речь: «Содержание атомов Pd в повторных опытах для Pd 1 масс. % по NGC варьировался от  $5,43 \times 10^5$  до  $2,79 \times 10^7$ , то есть в пределах двух порядков, что говорит о неравномерном осаждении наночастиц палладия на материал.»

Указанные замечания не затрагивают основных выводов и итогов работы, которые основаны на тщательных экспериментальных данных, обобщениях собственного материала и данных, имеющих в литературе. Автореферат и опубликованные работы отражают основное содержание диссертации. Основное содержание диссертации изложено в 4 статьях в международных и российских научных изданиях (в том числе в 3 статьях из журналов первого квартала) и 8 тезисах конференций. Диссертация А. С. Галушко «Исследование динамических трансформаций палладиевых наночастиц в гетерогенных каталитических системах Pd/C и роли одиночных поверхностных атомов палладия в реакциях кросс-сочетания» является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи установления роли различных форм палладия в осуществлении каталитических реакций кросс-сочетания, а также выявления основного пути дезактивации нанесённых катализаторов Pd/C. Таким образом, работа полностью соответствует критериям п.9 Положения о порядке присуждения учёных степеней, утверждённом постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013, а её автор Галушко Алексей Сергеевич заслуживает присвоения ему учёной степени кандидата химических наук по специальности 02.00.04 – «Физическая химия».

#### Официальный оппонент

Профессор РАН, д.х.н., Брыляков Константин Петрович,  
профессор кафедры физической химии Факультета естественных наук  
ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (НГУ, г. Новосибирск)  
630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 1  
Телефон: +7 913 987-3467  
Электронный адрес: [bryliako@catalysis.ru](mailto:bryliako@catalysis.ru)



Брыляков К. П.

Подпись Брылякова К.П. заверяю:  
Ученый секретарь Учёного совета НГУ, к.х.н.

Тарабан Е. А.