

В диссертационный совет 24.1.092.02 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора химических наук при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте органической химии им. Н.Д. Зелинского Российской академии наук

## СОГЛАСИЕ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

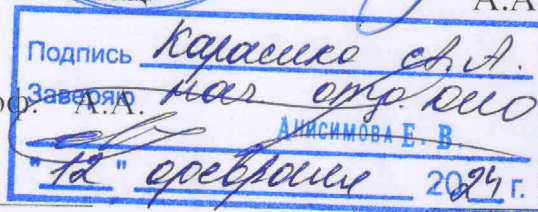
Я, Карасик Андрей Анатольевич, доктор химических наук, член-корреспондент РАН, профессор, руководитель Института органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ Казанский научный центр РАН, даю свое согласие выступить в качестве официального оппонента по диссертации Кашина Алексея Сергеевича на тему: «Развитие метода электронной микроскопии для изучения стехиометрических процессов с участием соединений переходных металлов и каталитических реакций тонкого органического синтеза в однородных и структурированных жидких средах» по специальности 1.4.14 – кинетика и катализ и предоставить отзыв в диссертационный совет в установленном порядке.

В соответствии с Федеральным законом от 27.07.2006 № 152-ФЗ «О персональных данных» настоящим даю согласие на обработку моих персональных данных в целях включения в аттестационное дело для защиты диссертации соискателя. Согласие распространяется на следующие персональные данные: фамилия, имя, отчество; ученая степень; ученое звание; шифр специальности, по которой защищена диссертация; место основной работы; должность; контактный телефон, e-mail; научные публикации.

Также подтверждаю, что даю согласие на размещение полного текста отзыва на диссертацию и сведений об официальном оппоненте на сайте (портале) Института органической химии им. Н.Д. Зелинского Российской Академии Наук в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» по адресу <https://zioc.ru/events/novosti-dissertacionnykh-sovetov> с момента подписания настоящего согласия.

Приложение: сведения об официальном оппоненте  
Доктор химических наук, член-корр. РАН, профессор, руководитель Института органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ Казанский научный центр РАН А.А. Карасик

Подпись д.х.н., член-корр. РАН, проф. Карасика удостоверяю



12 февраля 2024 г.



### Сведения об официальном оппоненте

по диссертации Кашина Алексея Сергеевича

«Развитие метода электронной микроскопии для изучения стехиометрических процессов с участием соединений переходных металлов и каталитических реакций тонкого органического синтеза в однородных и структурированных жидких средах» по специальности 1.4.14 – Кинетика и катализ на соискание ученой степени доктора химических наук

Фамилия, имя, отчество	Карасик Андрей Анатольевич
Гражданство	РФ
Ученая степень, наименование отрасли науки, научных специальностей, по которым защищена диссертация	Доктор химических наук (02.00.08)
Ученое звание	Профессор, член-корреспондент РАН
Полное наименование организации в соответствии с уставом	Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук»
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом	ИОФХ им. А.Е. Арбузова – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН
Ведомственная принадлежность организации	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Полное наименование кафедры	Лаборатория фосфорорганических лигандов
Почтовый индекс, адрес организации	420088, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Арбузова, д. 8
Веб-сайт	<a href="http://iopc.ru/">http://iopc.ru/</a>
Телефон	+7 (843) 272-73-92
Адрес электронной почты	<a href="mailto:karasik@iopc.ru">karasik@iopc.ru</a>



Список основных публикаций в рецензируемых изданиях, монографии, учебники за последние пять лет по теме диссертации (не более 15 публикаций)

1. Galimova M.F., Zueva E.M., Petrova M.M., Dobrynin A.B., Kolesnikov I.E., Musina E.I., Musin R.R., **Karasik A.A.**, Sinyashin O.G. Design of luminescent complexes with different  $Cu_4I_4$  cores based on pyridyl phenoxarsines // Dalton Transactions. – 2024. – Т. 53. – С. 1087–1098.
2. Galimova M.F., Burdina K.A., Dobrynin A.B., Lyubina A.P., Voloshina A.D., Musina E.I., **Karasik A.A.** Silver(I) complexes based on cyclic arsine ligands: Synthesis, structure and bioactivity // Inorganica Chimica Acta. – 2024. – Т. 563. – С. 121896.
3. Strel'nik I.D., Dayanova I.R., Faizullin B.A., Mustafina A.R., Gerasimova T.P., Kolesnikov I.E., Islamov D.R., Litvinov I.A., Voloshina A.D., Sapunova A.S., Gubaidullin A.T., Musina E.I., **Karasik A.A.** Linkage of the dinuclear gold(I) complex luminescence and origin of endocyclic amino group of cyclic  $P_2N_2$ -bridging ligands // Inorganic Chemistry. – 2023. – Т. 62. – № 48. – С. 19474–19487.
4. Enikeeva K.R., Shamsieva A.V., Strel'nik A.G., Fayzullin R.R., Zakharychev D.V., Kolesnikov I.E., Dayanova I.R., Gerasimova T.P., Strel'nik I.D., Musina E.I., **Karasik A.A.**, Sinyashin O.G. Green emissive copper(I) coordination polymer supported by the diethylpyridylphosphine ligand as a luminescent sensor for overheating processes // Molecules. – 2023. – Т. 28. – № 2. – С. 706.

5. Strelnik I.D., Dayanova I., Gerasimova T.P., Katsyuba S.A., Kolesnikov I.E., Kalinichev A., Shmelev A., Islamov D.R., Lönnecke P., Hey-Hawkins E., Musina E.I., **Karasik A.A.** Deep-blue emissive copper(I) complexes based on P-thiophenylethyl-substituted cyclic bisphosphines displaying photoinduced structural transformations of the excited states // *Inorganic Chemistry*. – 2022. – T. 61. – № 42. – C. 16596–16606.
6. Kireev N.V., Kiryutin A.S., Pavlov A.A., Yurkovskaya A.V., Musina E.I., **Karasik A.A.**, Shubina E.S., Ivanov K.L., Belkova N.V. Nickel(II) dihydrogen and hydride complexes as the intermediates of H<sub>2</sub> heterolytic splitting by nickel diazadiphosphacyclooctane complexes // *European Journal of Inorganic Chemistry* – 2021. – T. 2021. – № 41. – C. 4265–4272.
7. Dayanova I.R., Shamsieva A.V., Strelnik I.D., Gerasimova T.P., Kolesnikov I.E., Fayzullin R.R., Islamov D.R., Saifina A.F., Musina E.I., Hey-Hawkins E., **Karasik A.A.** Assembly of heterometallic AuICu<sub>2</sub>I<sub>2</sub> cores on the scaffold of NPPN-bridging cyclic bisphosphine // *Inorganic Chemistry*. – 2021. – T. 60. – № 7. – C. 5402–5411.
8. Faizullin B.A., Strelnik I.D., Dayanova I.R., Gerasimova T.P., Kholin K.V., Nizameev I.R., Voloshina A.D., Gubaidullin A.T., Fedosimova S.V., Mikhailov M.A., Sokolov M.N., Sibgatullina G.V., Samigullin D.V.,



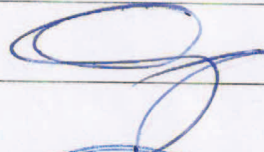
- Petrov K.A., **Karasik A.A.**, Mustafina A.R. Structure impact on photodynamic therapy and cellular contrasting functions of colloids constructed from dimeric Au(I) complex and hexamolybdenum clusters // *Materials Science & Engineering C*. – 2021. – T. 128. – C. 112355.
9. Galimova M.F., Zueva E.M., Dobrynin A.B., Kolesnikov I.E., Musin R.R., Musina E.I., **Karasik A.A.** Luminescent Cu<sub>4</sub>I<sub>4</sub>-cubane clusters based on *N*-methyl-5,10-dihydrophenarsazines // *Dalton Transactions*. – 2021. – T. 50. – C. 13421–13429.
10. Galimova M.F., Begaliev T.A., Zueva E.M., Kondrashova S.A., Latypov S.K., Dobrynin A.B., Kolesnikov I.E., Musin R.R., Musina E.I., **Karasik A.A.** Platinum(II) complexes with 10-(aryl)phenoxarsines: Synthesis, cis/trans isomerization, and luminescence // *Inorganic Chemistry*. – 2021. – T. 60. – № 9. – C. 6804–6812.
11. Musina E.I., Wittmann T.I., Musin L.I., Balueva A.S., Shpagina A.S., Litvinov I.A., Lönnecke P., Hey-Hawkins E., **Karasik A.A.**, Sinyashin O.G. Dynamic covalent chemistry approach toward 18-membered P<sub>4</sub>N<sub>2</sub> macrocycles and their nickel(II) complexes // *The Journal of Organic Chemistry*. – 2020. – T. 85. – № 22. – C. 14610–14618.
12. Spiridonova Yu.S., Nikolaeva Yu.A., Balueva A.S., Musina E.I., Litvinov I.A., Strel'nik I.D., Khrizanforova V.V., Budnikova



	Yu.G., Karasik A.A. Synthesis and structure of iron (II) complexes of functionalized 1,5-diaza-3,7-diphosphacyclooctanes // Molecules. – 2020. – Т. 25. – № 17. – С. 3775.
Являетесь ли Вы работником Института органической химии им. Н.Д. Зелинского Российской Академии Наук (в том числе по совместительству)?	Не являюсь
Являетесь ли Вы работником (в том числе по совместительству) организации, где работает соискатель ученой степени, его научный руководитель?	Не являюсь
Являетесь ли Вы работником (в том числе по совместительству) организаций, где ведутся научно-исследовательские работы, по которым соискатель ученой степени является руководителем или работником организации-заказчика или исполнителем (соисполнителем)?	Не являюсь
Являетесь ли Вы членом Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования науки Российской Федерации?	Не являюсь
Являетесь ли Вы членом экспертных советов Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования науки Российской Федерации?	Не являюсь
Являетесь ли Вы членом диссертационного совета, принявшего диссертацию к	Не являюсь



защите?	
Являетесь ли Вы соавтором соискателя степени по опубликованным работам по теме диссертационного исследования?	Не являюсь

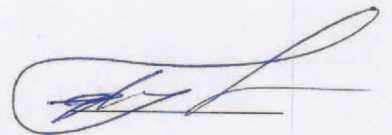


/Карасик А.А./

Подпись д.х.н., член-корр. РАН, проф.  
Карасика А.А. удостоверяю

*маг. стр. РСО*

Анисимова Е. В.



12 февраля 2024 г.





## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу **Кашина Алексея Сергеевича** «Развитие метода электронной микроскопии для изучения стехиометрических процессов с участием соединений переходных металлов и каталитических реакций тонкого органического синтеза в однородных и структурированных жидких средах», представленную на соискание учёной степени доктора химических наук по специальности

1.4.14 – кинетика и катализ.

Развитие методологии исследования механизмов протекания стехиометрических и каталитических прекращений с участием производных переходных металлов, которые часто включают формирование гетерогенной твердой фазы, представляет важную и очень сложную задачу современной физической химии, а именно ее раздела «кинетика и катализ». Формирование и превращение твердых частиц в реакционных смесях резко усложняет применение стандартных физических методов исследования органических соединений, в то время как влияние этих частиц на общий результат реакции часто оказывается решающим. Чтобы ответить на этот вызов необходимо дополнить известные методы контроля химических превращений в растворах и применять методологию исследования нано- и микрообъектов, причем делать это в режиме постоянного, т.е. длящегося все время протекания реакции, контроля. Автор диссертационной работы предположил и успешно продемонстрировал, что в качестве подобного метода может рассматриваться сканирующая (СЭМ) и просвечивающая (ПЭМ) электронная микроскопия как образцов твердой фазы, извлечённых из реакционной смеси, так и непосредственно самой реакционной смеси, помещенной в закрытую ячейку для микроскопии или сформированной неиспаряющимся растворителем (ионной жидкостью). Фактически автор предлагает методологию исследования химических процессов на основе информации, лежащей на границе макромира и молекулярных превращений. Химики с древнейших времен контролировали макроразмерные параметры реакций, такие как температура, рН, окрашивание, объем выделяемого газа, количество твердого осадка. Последние сто лет с развитием физических методов исследования таких как ИК-, КР-, ЯМР-спектроскопия, масс-спектрометрия и РСА все больше информации стало поступать о строении ключевых интермедиатов химических реакций, механизмах химических превращений. Однако, изучение реакций, а в особенности каталитических, в ходе которых образуются нано- и микроразмерные интермедиаты или продукты до сих пор представляет актуальную задачу кинетики и катализа. Новизну и актуальность работы подчеркивает обнаруженная совсем недавно важнейшая роль наноразмерных агрегатов при реализации большого числа органических реакций, катализируемых производными переходных металлов.

Динамические процессы вообще, а процессы взаимопревращения молекул и наночастиц в частности, очень сложны в плане исследования их механизмов. Даже качественные



представления и схемы возможных переходов очень важны, а количественные характеристики, необходимые для расчета термодинамических характеристик и кинетических уравнений, еще долго будут оставаться актуальной темой научных исследований.

Диссертация состоит из введения, литературного обзора, трех разделов основной части, в которых представлены и проанализированы результаты проведенных исследований, экспериментальной части, выводов и списка литературы. Материал диссертации изложен на 290 страницах и включает 17 таблиц и 97 рисунков. Список литературы включает в себя 267 наименований.

После введения, подчеркивающего новизну и значимость исследования, следует обзор научных работ, в котором проанализированы вопросы аппаратного оформления метода жидкофазной электронной микроскопии и результаты исследования механизмов формирования и превращения наночастиц в растворах при помощи электронной микроскопии. Отдельно рассмотрены вопросы использования жидкостной электронной микроскопии в электрохимических исследованиях и в исследовании динамики частично упорядоченных сред (soft matter). Все эти разделы имеют непосредственное отношение к материалам диссертации, представленным в главе «Обсуждение результатов». Анализ литературных данных выполнен на высоком уровне, продемонстрированы актуальные достижения жидкостной электронной микроскопии и перспективы развития этого метода. Уровень обзора подчеркивает опубликованная автором статья в журнале Успехи химии «Современная электронная микроскопия в изучении химических систем на стыке органического синтеза и катализа».

Глава с обсуждением полученных автором результатов, в свою очередь, разделена на три части. Сначала на примере соединений и наночастиц золота и палладия была продемонстрирована возможность применения электронной микроскопии для изучения строения динамических систем в среде органических растворителей. В качестве основного метода была использована быстрая адсорбция нано-коллоидных частиц из реакционной смеси на подложку для ПЭМ исследования. Автор вполне резонно предполагает, что при нанесении не происходит изменение морфологии частиц, однако это утверждение в диссертации постулируется, а не доказывается. Хотелось бы отметить, что интересный метод исследования, построенный на адсорбции частиц на углеродную плёнку, описан в диссертации недостаточно подробно. Осталось не ясным, как происходил пробоотбор, удаление растворителя и т.п. Это очень важно, т.к. настоящая диссертация мне представляется как работа методологическая, когда важнее не то, что автор обнаружил, а как он это сделал. Наиболее значимым достижением раздела является выявленная зависимость и, главное, возможность контроля за формой и размером наночастиц золота при помощи трифенилфосфина, использованного в качестве своеобразного восстановителя. Немного недостает только авторской оценки, какого размера наночастицы золота востребованы, а какие не так интересны. Еще более интересны данные по образованию и превращению твердой фазы



в растворах ацетата палладия в присутствии фенилиодида – классического реагента реакций кросс-сочетания. В этом случае были отработаны возможности СЭМ и ПЭМ начиная от достаточно тривиального анализа выделенной твёрдой фазы, до стабилизации промежуточных частиц на углеродных подложках, электронной микроскопии в жидкостной ячейке или жидкой фазе неиспаряющихся ионных жидкостей. До настоящего времени ПЭМ и СЭМ для жидкой фазы - это область нестандартных экспериментов, своего рода искусство, когда каждая задача требует отдельного решения. В результате продемонстрировано, что галоидный арил принимает непосредственное участие в формировании каталитически активной фазы в виде достаточно необычных наночастиц палладия, стабилизированных атомом галогена. Опираясь на полученные данные, автору удалось продемонстрировать роль микроструктурных эффектов в палладий-катализируемых реакциях в среде ионных жидкостей. Отличительной чертой работы является активное привлечение алгоритмов машинного анализа и искусственного интеллекта для анализа изображений СЭМ. Отличной находкой представляется использование йодобензола, как активатора реакций Хека с более доступным, но менее реакционноспособным бромбензолом. Выход реакции увеличивается до приемлемых 85 %. Жаль, что не удалось перейти к хлорпроизводным.

Второй подраздел обсуждения результатов связан с исследованием поведения частиц тиолятов переходных металлов, а именно никеля и меди, в стехиометрических и каталитических реакциях образования связи сера–углерод. Применяя комбинацию методов твердо- и жидкофазной электронной спектроскопии, удалось установить закономерности формирования и распада координационных полимеров тиолятов никеля и меди, связанные с отщеплением радикалов RS и обогащенной металлом каталитически активной твердой фазы. Интересно, что методами микроскопии удалось визуализировать процесс и тем самым доказать неравномерность растворения твёрдого вещества, которое понятно было интуитивно. В разделе описано очень важное явление - протекание процесса CS кросс-сочетания в двух режимах - в растворе и на границе раздела фаз. Автором предпринято уникальное исследование - связываются молекулярное строение, морфология нано-, микро- и субмикрочастиц тиолятов никеля с их реакционной способностью в CS кросс-сочетании в присутствии производных палладия. Учитывая, что реакция частично протекает на границе раздела фаз, отличия в скорости не могут быть объяснены только скоростью растворения как кажется на первый взгляд, а имеют более фундаментальные причины. Вскрытие механизма эффективного CS кросс-сочетания в присутствии оксида меди представляет большой успех автора. Для это пришлось отработать методологии, собрать массив данных по морфологии интермедиатов на основе электронной микроскопии. Чем больше будет таких исследований, тем точнее и эффективнее станет дизайн каталитических систем.

Третья часть обсуждения результатов связана с разработкой методов визуализации морфологии как простых бинарных систем ионная жидкость – вода, так и сложных



реакционных сред, в которых в качестве растворителя использовалась ионная жидкость. Оказалось, что в зависимости от типа ионной жидкости и количества воды могут формироваться различные структурные мотивы водных микродоменов. Автором проведена оптимизация условий наблюдения микродоменной структуры при помощи электронной микроскопии. Это важная в методологическом отношении часть работы, поскольку использование ионных жидкостей находит все большее применение в органической химии и катализе. Данные по доменной микроструктуре и её динамике открывают путь не только к углублённому пониманию поведения реакционных систем в ионных жидкостях в присутствии воды, но и открывают возможности направленного воздействия на систему.

Экспериментальная часть написана достаточно подробно и ясно, что заметно облегчит использование предложенных автором методов и методик. Основной вопрос - это микроколичества веществ и растворителей, предложенные в большинстве методик. Такие количества тают опасность серьёзных флуктуаций. Так, с учетом малых количеств вещества трудно контролировать температуру, качество перемешивания, степень растворения исходных веществ и т.п., т.е. быть уверенным, что образец соответствует стандартному для данного процесса.

Работа прекрасно проиллюстрирована. Так, на рисунках представлены очень понятные схемы экспериментов с жидкофазными и твердыми объектами в условиях электронной микроскопии, которые позволяют читателю понять специфику проведённых экспериментов, особенности аппаратного оформления, возможности и ограничения каждого приема, использованного автором для получения данных.

Заключают диссертацию основные выводы, делаемые автором по излагаемому материалу.

Диссертационная работа представляет собой симбиоз классического исследования механизмов формирования, химических и каталитических свойств новых химических соединений переходных металлов и систем, содержащих эти соединения в виде нано- или микроразмерной гетерофазы с одной стороны, а с другой - пионерской методологической работы, раскрывающей возможности электронной микроскопии для исследования динамического поведения этих систем. Как и любое разностороннее и многоплановое исследование, диссертация вызывает ряд вопросов:

1. Очень необычно выглядят наночастицы PdI (обычно речь идёт о наночастицах Pd), обнаруженные в реакциях кросс-сочетания, катализируемых ацетатом палладия. Были ли попытки выделить эти частицы и описать их строение предприняты самим автором?
2. В разделе 3.1.3 предполагается, что дополнительную жидкую фазу в ионной жидкости формирует фенилиодид, но его мало в конце реакции. Могут ли в этой роли выступать органические продукты реакции?



3. В разделе 3.1.3 переход от классических ионных жидкостей к солям тетраалкилфосфония привел к образованию гомогенной смеси, однако каталитическая активность системы сохранилась. Может ли рассматриваться вариант, что и ранее реакция протекала в фазе ионной жидкости, а микрокапли и наночастицы, были побочным продуктом, т.е. не принимали участия в каталитическом процессе? Это важно, учитывая обнаруженную автором различную морфологию гетерофаз в схожих по эффективности каталитических реакциях.
4. В разделе 3.2., связанном с изучением взаимопревращения тиолятов никеля в ходе реакций образования связей сера-углерод, не приведены данные по степени полимеризации соответствующего полиядерного комплекса, а степень полимеризации вполне может быть значимым фактором, обуславливающим морфологию этих координационных полимеров.
5. В разделе 3.2.1. используется термин «никелевый центр с неплоским окружением». Это означает тетраэдрическую, квадратно-пирамидальную или какую-то иную конфигурацию иона никеля?
6. На рис. 53 все Фурье-образы осцилляций EXAFS К-края никеля выглядят схожими, но для орто-аминотиофенола, должно наблюдаться различие, т.к. в этом случае реализуется хелатный молекулярный комплекс, а в других - металлосодержащий полимер без хелатных фрагментов.
7. В работе в разделе 3.2.1. трифенилфосфин используется в качестве восстановителя для дисульфидов. Но это неудобный восстановитель, поскольку он представляет собой сильный координирующий агент, способный изменить ход реакции, продукт его окисления - твёрдое вещество, также способное к координации, для эффективного окисления нужна вода. А что будет, если использовать классические восстановители - гидразин, водород, различные гибриды?
8. К сожалению, на рис. 56 изменение размера и морфологии частиц тиолята никеля визуально практически не заметно. Почему нет картинки с большим разрешением?
9. Для чего проводились эксперименты по синтезу никель-содержащих материалов при прокаливании на воздухе? Была ли цель получить оксид никеля?
10. В разделе 3.2.3 применение  $dppe$  объясняется его большей устойчивостью по сравнению с трифенилфосфином, однако главное отличие - это способность образовывать очень устойчивые хелатные комплексы с переходными металлами в низких степенях окисления. Таким образом,  $dppe$  способен изменять схему и механизм взаимодействия.
11. Как доказывалось, что наблюдаемые нано- и микрочастицы в реакциях, катализируемых тиолятами меди и никеля, лежат на пути каталитического процесса, а не являются побочными продуктами?



## 12. Что из себя представляет твёрдая фаза в смеси ионная жидкость - вода?

Заданные вопросы и указанные недостатки не носят принципиального характера и не снижают высокой оценки представленной диссертации. Обилие вопросов отражает интерес, возникший у оппонента к настоящей работе, и желание разобраться в нюансах проведённого исследования. Исследования, представленные в диссертации, лежат в русле развивающейся в последнее время фундаментальной концепции об участии в катализе динамической системы взаимопревращающихся каталитических частиц.

Исследование выполнено на высоком теоретическом и экспериментальном уровне, и достоверность полученных результатов сомнений не вызывает. В ходе исследования решена значимая задача в области кинетики и катализа, связанная с разработкой инструментария исследования гетерофазных сред в случаях формирования второй фазы на нано- и микроуровнях.

Данная работа, вероятно, сделает электронную микроскопию реакционных сред каталитических реакций с участием металлосодержащих катализаторов необходимым инструментом исследования. Это позволит не только подтвердить или опровергнуть гомогенность системы, но и определить динамику образования и превращения, а, главное, роль в каталитическом цикле тех или иных нано- и микрочастиц твёрдой фазы. Полученные сведения и обобщения, сделанные автором, имеют принципиально важное значение для понимания природы гомогенно-гетерогенных каталитических систем и, следовательно, для последующего рационального конструирования высокоэффективных каталитических систем.

Диссертация А.С. Кашина является законченной научно-исследовательской работой, вносит существенный вклад в развитие современных представлений о кинетике и катализе и открывает серьезные перспективы для решения фундаментальных и прикладных задач химии. Результаты работы А.С. Кашина представляют несомненный интерес для специалистов, работающих в области гомогенного и гетерогенного металлокомплексного катализа органических реакций, химии наноматериалов, органической химии и многих смежных областях.

Автореферат диссертации адекватно отражает ее содержание. Основные материалы диссертации изложены в 22 статьях в рецензируемых отечественных и международных научных журналах; а также в главе в книге, выпущенной издательством Wiley-VCH, они достаточно полно отражают содержание работы. Полученные результаты также были представлены на 7 конференциях. Публикация принципиальных результатов в ведущих мировых научных журналах (включая *Angew.Chem.Int.Ed.*, *Nat.Commun.*, *Small* и *JACS*) подтверждает приоритет автора и новизну полученных им результатов. Роль данного исследования и высокую эрудицию автора подчёркивают глава в монографии и два обзора



(Успехи химии и Chem.Soc.Rev) по теме диссертационной работы. Полученные экспериментальные и теоретические данные определяют научную новизну и практическую ценность работы.

В целом автором проделана многоплановая, весьма значительная по объему и трудоемкости работы. Результаты диссертации являются оригинальными и соответствуют поставленным целям, а ее выводы являются убедительными и носят принципиальный характер. Несомненно, что диссертация представляет собой значимое фундаментальное научное достижение, которое вносит вклад в развитие представлений о кинетике и катализе. Тема исследования соответствует заявленной научной специальности.

Диссертационная работа по новизне, практической значимости, достоверности результатов и обоснованности выводов удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней» (утверждено Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 с изменениями Постановлений Правительства РФ от: 21.04.2016 г. № 335; 02.08.2016 г. № 748; 29.05.2017 г. № 650; 20.03.2021 г. № 426), а её автор Кашин Алексей Сергеевич заслуживает присуждения учёной степени доктора химических наук по специальности 1.4.14 – кинетика и катализ.

Официальный оппонент

руководитель Института органической и физической химии  
им. А.Е. Арбузова - обособленного структурного подразделения  
ФИЦ Казанского научного центра РАН,  
доктор химических наук (02.00.08 – Химия элементоорганических соединений),  
член-корреспондент РАН, профессор

Карасик Андрей Анатольевич

« 18 » апреля 2024 г.

420088, Казань, ул. Арбузова, 8.

Тел.: 8 (843) 272-73-92. E-mail: karasik@iopc.ru

Я согласен на обработку моих персональных данных.

