

рственного
ауки
ентр «Казанский
мии наук»,
А.А. Калачев
023 года

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Федеральный исследовательский центр
«Казанский научный центр Российской академии наук»

Диссертация Герасимовой Дарьи Павловны «Экспериментальное и теоретическое исследование гомо- и гетерохирального типов связывания производных 5-гидрокси-3-пирролин-2-она» выполнена в лаборатории дифракционных методов исследований Института органической и физической химии им. А.Е. Арбузова – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук» (ИОФХ им. А.Е. Арбузова – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН).

В период подготовки диссертации и по настоящее время соискатель Герасимова Д.П. является младшим научным сотрудником лаборатории дифракционных методов исследований ИОФХ им. А.Е. Арбузова – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН.

Справки о сдаче кандидатских экзаменов выданы в 2022 и 2023 году ФИЦ КазНЦ РАН.

В 2020 г. Герасимова Д.П. окончила специалитет Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» по направлению 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия», направленность «Физическая химия».

Научный руководитель – к.х.н. Лодочникова Ольга Александровна – является старшим научным сотрудником лаборатории дифракционных методов исследований ИОФХ им. А.Е. Арбузова – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН.

Диссертация Герасимовой Д.П. обсуждалась на заседании расширенного научного семинара ИОФХ им. А.Е. Арбузова – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН по направлению «Физическая и супрамолекулярная химия, кристаллохимия и спектроскопия» (протокол № 8 от

14.11.2023). На заседании присутствовали 30 чел., в т.ч. члены диссертационного совета 24.1.225.01 и Ученого совета ИОФХ им. А.Е. Арбузова – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН: д.х.н. Газизов А.С., д.х.н. Губайдуллин А.Т., д.х.н. Латыпов Ш.К., д.х.н. Литвинов И.А., д.х.н. Мустафина А.Р., д.х.н. Хаматгалимов А.Р., к.х.н. Лодочникова О.А., к.х.н. Торопчина А.В.

При обсуждении диссертации соискателю были заданы следующие вопросы:

1. к.х.н. Заиров Р.Р.: чем интересны 5-гидрокси-3-пирролин-2-оны? Почему они были выбраны в качестве исследуемых соединений? Где применяются?
2. к.х.н. Заиров Р.Р.: почему при наличии гомологов были выбраны сложные соединения? Почему не на простых соединениях проводили исследования?
3. д.х.н. Мустафина А.Р.: какова роль ароматических фрагментов в π - π взаимодействии? Важно ли наличие ароматических фрагментов? В одинаковых фрагментах молекул участвуют π - π взаимодействия или донорно-акцепторные силы?
4. д.х.н. Мустафина А.Р.: какие взаимодействия наиболее важны для образования гомохиральных конгломератов?
5. д.х.н. Газизов А.С.: почему соединение 4 выпадает из исследованного ряда соединений? Можно ли спрогнозировать упаковку, например, для соединения с метильным заместителем в положении X и незамещенным положением в Y?
6. к.х.н. Миргородская А.Б.: откуда брали исследованные соединения? Как влияют условия синтеза на хиральность?
7. к.х.н. Заиров Р.Р.: изучали ли макроскопические свойства помимо температуры плавления?
8. к.х.н. Заиров Р.Р.: что конкретно контролировали при нагреве?
9. к.х.н. Заиров Р.Р.: за счет каких взаимодействий осуществляется сшивание цепочек в кристаллах?
10. д.х.н. Губайдуллин А.Т.: рассматривали ли $\text{Hal} \cdots \text{Hal}$ взаимодействия в исследованных кристаллах?
11. д.х.н. Газизов А.С.: вы проводили сами суспензионные эксперименты?

На все поставленные вопросы соискатель дал исчерпывающие ответы.

С рецензией на работу выступила д.х.н. Зиганшина А.Ю. Рецензия положительная.

Диссертационная работа Герасимовой Дарьи Павловны выполнена в области исследования формирования гомо- и гетерохиральных ансамблей производных 5-гидрокси-3-пирролин-2-она.

Актуальность работы. Хиральность является важной чертой практически всех биомолекул, и влияет на такие свойства систем, как молекулярное распознавание и самосборка. Получение чистых энантиомеров становится все более

необходимым для развития агрохимии, биотехнологии, и особенно, фармацевтики. Широко известно, что только один энантиомер хирального лекарства или биоактивной молекулы оказывает необходимое физиологическое воздействие, тогда как другой либо токсичен, либо неэффективен. По этой причине получение оптически чистого энантиомера является *актуальным и значимым*. При химическом синтезе часто образуются рацемические смеси, поэтому необходима разработка эффективных методов их разделения. Решением может быть создание конгломератов, в которых рацематы самопроизвольно разделяются на энантиомеры. Вследствие этого, определение механизмов образования конгломератов, и нахождение оптимальных условий для их формирования является важной задачей современности. Данной теме и посвящена диссертационная работа Герасимовой Дарьи Павловны.

Структура и содержание диссертации. Диссертационная работа изложена на 155 страницах машинописного текста, содержит 27 таблиц, 8 схем и 76 рисунков. Работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка условных обозначений, и списка цитируемой литературы, включающей 231 ссылку. В главе 1 представлен обстоятельно написанный литературный обзор, посвященный вопросам хиральности и ее важности в различных областях науки и жизни. Описаны движущие силы образования ансамблей со спонтанным разделением энантиомеров, показано влияние на данные процессы вторичных взаимодействий. Представлено понятие полиморфизма и его классификация. Глава 2 представляет собой обсуждение собственных полученных результатов, где описано образование ансамблей энантиофильной серии, показаны полиморфные переходы и их термодинамические характеристики. Продемонстрированы ансамбли со спонтанным разделением энантиомеров и описаны движущие силы их образования. Сформированы структурные условия для формирования конгломератов различного типа. В экспериментальной части (глава 3) дано описание методов исследования и представлены используемые приборы. Приведены основные кристаллографические параметры исследуемых структур.

Диссертационная работа обладает высокой степенью новизны и практической значимости.

Научная новизна диссертационной работы. Герасимовой Д.П. тщательно изучена кристаллизация рацемических смесей хиральных производных 5-гидрокси-3-пирролин-2-она, показаны полиморфизм и фазовые переходы, а также выявлены фундаментальные различия между гомо- и гетерохиральными типами самосборки 5-гидрокси-3-пирролин-2-онов.

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы. Исследование дает фундаментальное представление о движущих силах и влиянии структуры заместителей у производных 5-гидрокси-3-пирролин-2-она на спонтанное разделение энантиомеров. В работе показано, что небольшие изменения в структуре оказывают существенное влияние на образование гетеро- и гомохиральных кристаллов. Понимание закономерностей спонтанного разделения

энантиомеров важно для разработки чистых энантиомерных препаратов с биологической активностью.

Апробация работы. По материалам диссертационной работы опубликовано 6 научных статей в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ и тезисы 7 научных докладов в материалах международных и Всероссийских конференций.

Достоверность и обоснованность полученных результатов. Представленные в диссертационной работе результаты исследований являются достоверными и подтверждаются большим объемом экспериментальной работы, с использованием современных физико-химических методов исследования структуры и свойств веществ (рентгеноструктурный анализ, порошковая дифрактометрия, дифференциальная сканирующая калориметрия, ИК спектроскопия) и методов квантовой химии.

Научные положения и выводы являются обоснованными и полностью обобщают полученные результаты.

К несомненным достоинствам рецензируемой работы можно отнести следующее. Впечатляет системный подход к исследованию кристаллизации девяти рацемических смесей, с использованием физико-химических методов и квантовых расчетов. Установлено, что для большинства исследуемых соединений имеются несколько полиморфных модификаций, каждая из которых полностью охарактеризована данными РСА, ДСК, порошковой дифрактометрией и ИК спектроскопией. Показаны фазовые переходы и рассчитаны термодинамические характеристики. Установлены закономерности образования энантиомерных конгломератов. Диссертационная работа Герасимовой Д.П. имеет логичную структуру и написана хорошим научным языком.

Принципиальных **замечаний** по содержанию работы при ознакомлении с диссертацией не возникло. Есть несколько замечаний, касающихся оформления работы:

1. В заголовке и в самой диссертационной работе исследуемые соединения обозначаются, как «производные 3-пирролин-2-она». По моему мнению лучше их называть, как «производные 5-гидрокси-3-пирролин-2-она», так как наличие гидроксильной группы в 5 положении является ключевым и как раз оно придает соединениям хиральность.

2. В некоторых рисунках используются английские названия, которые следует перевести на русский язык.

3. Структуры исследуемых соединений приведены в общей схеме в начале главы Обсуждение результатов. По моему мнению, для наглядности, структуру отдельных соединений можно продублировать в том месте, где она обсуждается.

4. На странице 65 автором делается заключение о влиянии метильной группы на энантиофильность. По моему мнению, вывод преждевременный и его следует переместить к концу подглавы 2.1.2.

5. При описании рисунка 43 следует разъяснить, что означает точка $T_{5b(en)}$, и для чего она приведена.

Представленные замечания не являются существенными и не влияют на общую положительную оценку работы.

После ознакомления с диссертационной работой считаю возможным сделать следующий вывод: заявленные цель и задачи исследования выполнены диссертантом полностью: получены важные результаты, касающиеся особенностей кристаллизации производных 5-гидрокси-3-пирролин-2-она; установлено влияние строения заместителей и пирролиноновом кольце и методов кристаллизации на формирование кристаллов; определены условия перехода одного вида кристаллов в другой; изучены термодинамические характеристики фазовых переходов и образования отдельных полиморфных форм; приведены квантово-химические расчёты, подтверждающие влияние структуры соединений на кристаллическую упаковку.

Заключение

Диссертационная работа Герасимовой Дарьи Павловны «Экспериментальное и теоретическое исследование гомо- и гетерохирального типов связывания производных 3-пирролин-2-она» представляет на данном этапе исследований собой **законченную научно-исследовательскую работу**, выполненную на высоком научном уровне, и соответствует паспорту специальности 1.4.4. Физическая химия.

Считаю, что рецензируемая диссертационная работа по актуальности, новизне, научной и практической значимости, а также по числу и качеству выпущенных диссертантом публикаций полностью **соответствует требованиям**, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата химических наук, и может быть рекомендована к **официальной защите** по специальности 1.4.4. Физическая химия.

С поддержкой работы выступили: к.х.н. Заиров Р.Р.

По итогам обсуждения принято следующее **Заключение**.

Работа актуальна. Хиральность молекулярных соединений имеет большое значение для химических и биохимических систем и открывает множество возможностей для целого ряда дисциплин: от фундаментальной синтетической и физической химии через прикладную медицинскую химию до материаловедения как в промышленных, так и в академических исследованиях. Получение чистых энантиомеров приобретает всё большее значение не только для фармацевтической промышленности, но также для агрохимии и биотехнологии. В настоящее время есть четкие доказательства того, что часто только один энантиомер хирального лекарственного средства или биоактивного вещества обеспечивает желаемый

физиологический эффект, тогда как другой энантиомер во многих случаях не оказывает желаемого действия или даже вреден.

Химический синтез часто неселективен и ведет к рацематам. Этот факт и потребность в индивидуальных энантиомерах вызывают большой научный и коммерческий интерес к эффективным процессам разделения рацемических смесей. Спонтанное разделение на энантиомеры при кристаллизации рацематов, или другими словами, образование рацемических конгломератов в отсутствие какого-либо хирального источника, представляет значительный интерес в контексте гомохиральности в жизни и абсолютного асимметрического синтеза в твердом состоянии. Технологические процессы, основанные на явлении спонтанного разделения, являются, вероятно, наиболее удобным и экономичным способом получения энантиочистых веществ. В то же время вопрос, почему одни соединения при кристаллизации претерпевают спонтанное разделение, а другие – нет, продолжает оставаться одним из ключевых в современной стереохимии. Различными группами авторов в последнее время предпринимались попытки объяснить способность/неспособность соединения к спонтанному разделению: наличием в молекуле той или иной комбинации функциональных групп, степенью конформационной подвижности молекулы, наличием в молекуле того или иного собственного элемента симметрии. Традиционно кристаллографическим подходом к этой проблеме является рассмотрение всех межмолекулярных взаимодействий в кристалле и выявление преимуществ гомохиральных взаимодействий в хиральных кристаллах по сравнению с гетерохиральными в рацемических. Этот подход продолжает оставаться **актуальным** в свете получения новых классов хиральных веществ и пополнения «копилки» разных типов межмолекулярных взаимодействий.

Научная новизна работы:

1. Впервые подробно изучен феномен «двойной энантиофобности» при кристаллизации рацемических смесей хиральных соединений.
2. Впервые детально изучен уникальный фазовый переход «рацемический конгломерат 1 – рацемический конгломерат 2».
3. Выявлено фундаментальное различие гомо- и гетерохирального типов связывания в ключевой серии соединений.

Теоретическая и практическая значимость.

Теоретическая значимость работы заключается в получении результатов фундаментального характера по исследованию феномена спонтанного разделения энантиомеров и в обобщении полученных результатов на уровне закономерностей. На примере серии производных 5-гидрокси-3-пирролин-2-она показано, что проявление хиральности в кристаллах тесно связано с супрамолекулярной структурой, и следовательно, небольшие структурные изменения на молекулярном уровне могут вызвать значительные изменения за пределами молекулы и повлиять на тип кристаллизации, а именно, на образование гетеро- и гомохирального кристалла. Наблюдаемые корреляции между особенностями кристаллического строения и предпочтением образования одной из возможных форм, например,

рацемического соединения или рацемического конгломерата, могут быть использованы при планировании процессов кристаллизации в хиральных системах родственных или близких по строению соединений с целью разделения смесей их оптических изомеров при разработке новых препаратов для медицины. Понимание закономерностей образования различных кристаллических фаз как с точки зрения стереохимии, так и кристаллохимии, крайне важно для создания конструктивной базы современных исследований по обнаружению соединений с выраженной биологической активностью.

Ценность научных работ соискателя заключается в том, что обнаружена аномальная склонность к спонтанному разделению энантиомеров в серии тиопроизводных азотсодержащего гетероцикла ряда 5-гидрокси-3-пирролин-2-она. Сформулированы структурные условия образования рацемических конгломератов: отсутствие заместителя в *para*-положении бензильного фрагмента при атоме азота необходимо для формирования обоих типов конгломератов, в то время как наличие атома галогена в *para*-положении ароматического цикла при атоме серы необходимо для построения кристалла моноклинного конгломерата. Выявлено, что коренным отличием гомотипного и гетерохирального типов связывания в ключевой серии соединений является различная взаимная ориентация донорной и акцепторной групп в межмолекулярной водородной связи – направленность донорного атома водорода к НЭП атома кислорода карбонильной группы в случае пары молекул одинаковой конфигурации, и его ориентированность вдоль биссектрисы угла между двумя НЭП в случае пары молекул противоположной конфигурации. Установлена воспроизводимость гомотипного водородного связывания в кристаллах соединения с фенилтриазольным заместителем как рацемического конгломерата, так и рацемического соединения, несмотря на разную конформацию ключевой молекулы и различный тип вторичных взаимодействий, дополнительно сшивающих однотипную гомотипную цепочку. Выявлена вероятная причина воспроизводимости и стабильности гомотипных цепочек в рассматриваемом ряду соединений – дополнительное внутреннее сшивание в кристаллах, реализуемое за счет слабых вторичных взаимодействий: $C-H \cdots O$ в кристаллах с серосодержащими заместителями и $\pi \cdots \pi$ в кристаллах соединений с фенилтриазольным заместителем. Установлено, что высокая степень подобия структурной организации кристаллических решеток, характерная для упаковочных полиморфов, может сочетаться с существенной разницей в их энергетике, а также с высоким потенциальным барьером трансформации метастабильного полиморфа в стабильный.

Обоснованность и достоверность полученных результатов, обсуждаемых в диссертационной работе, подтверждается обширным экспериментальным материалом, полученных с помощью современных физических и физико-химических методов исследования.

Личный вклад соискателя заключался в анализе литературных данных, участии в постановке целей и задач исследования, в выполнении основного объема

экспериментальной (рентгеноструктурный анализ) и теоретической работы (квантово-химические расчеты), анализе, обработке и обсуждении полученных результатов, формулировке научных выводов, в написании и оформлении статей, апробации результатов работы.

Основное содержание работы изложено в 6 статьях в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК для размещения материалов диссертаций:

1. **Герасимова, Д. П.** Упаковочный полиморфизм на примере 5-гидрокси-1-(4-метилбензил)-3-хлор-4-[(4-хлорфенил)сульфанил]-1,5-дигидро-2*H*-пиррол-2-она: кристаллографическое, термохимическое и спектроскопическое исследование / Д. П. Герасимова, А. Ф. Сайфина, Р. Р. Файзуллин, Д. В. Захарычев, И. И. Вандюкова, А. Р. Курбангалиева, О. А. Лодочникова // Журн. структ. химии. – 2020. – Т. 61. – №. 3. – С. 498–510 [Gerasimova D. P. Packing polymorphism on the example of 5-hydroxy-1-(4-methylbenzyl)-3-chloro-4-[(4-chlorophenyl)sulfanyl]-1,5-dihydro-2*H*-pyrrol-2-one: a crystallographic, thermochemical, and spectroscopic study / D. P. Gerasimova, A. F. Saifina, D. V. Zakharychev, I. I. Vandyukova, R. R. Fayzullin, A. R. Kurbangaliev, O. A. Lodochnikova // J. Struct. Chem. – 2020. – V. 61. – №. 3. – P. 476–488].

2. **Герасимова, Д. П.** Хирально-зависимое водородное связывание и энергетика диастереоморфных кристаллов 1-бензил-3-бром-5-гидрокси-4-[(4-метилфенил)сульфанил]-1,5-дигидро-2*H*-пиррол-2-она / Д. П. Герасимова, А. Ф. Сайфина, Д. В. Захарычев, А. Р. Зарипова, Р. Р. Файзуллин, А. Р. Курбангалиева, О. А. Лодочникова // Журн. структ. химии. – 2021. – Т. 62. – №. 5. – С. 781–794 [Gerasimova D. P. Chirality-dependent hydrogen bonding and energetics of diastereomorphic crystals of 1-benzyl-3-bromo-5-hydroxy-4-[(4-methylphenyl)sulfanyl]-1,5-dihydro-2*H*-pyrrol-2-one / D. P. Gerasimova, A. F. Saifina, D. V. Zakharychev, A. R. Zaripova, R. R. Fayzullin, A. R. Kurbangaliev, O. A. Lodochnikova // J. Struct. Chem. – 2021. – V. 62. – №. 5. – P. 727–739].

3. **Gerasimova, D. P.** The second example of doubly enantiophobic behavior during crystallization: a detailed crystallographic, thermochemical and spectroscopic study / D. P. Gerasimova, A. F. Saifina, D. V. Zakharychev, R. R. Fayzullin, A. R. Kurbangaliev, O. A. Lodochnikova // CrystEngComm. – 2021. – V. 23. – №. 21. – P. 3907–3918.

4. **Герасимова, Д. П.** Воспроизводимость гомохиральной водородносвязанной цепочки в кристаллах конгломерата и рацемического соединения триазольного производного 3-пирролин-2-она / Д. П. Герасимова, Е. Ш. Сайгитбатов, Д. Р. Исламов, Д. В. Захарычев, А. Ф. Сайфина, А. Р. Курбангалиева, О. А. Лодочникова // Журн. структ. химии. – 2022. – Т. 63. – №. 9. – № 97832 [Gerasimova D. P. Reproducibility of a homochiral hydrogen-bonded chain in conglomerate and racemic compound crystals of the triazole derivative of 3-pyrroline-2-one / D. P. Gerasimova, E. Sh. Saigitbatalova, D. R. Islamov, D. V. Zakharychev, A. F. Saifina, A. R. Kurbangaliev, O. A. Lodochnikova // J. Struct. Chem. – 2022. – V. 63. – №. 9. – P. 1434–1445].

5. **Герасимова, Д. П.** Устойчивость и воспроизводимость димерного мотива в кристаллах тиоэфиров 3-бром-5-гидрокси-1-(4-метилбензил)-1,5-дигидро-

2*H*-пиррол-2-онов / Д. П. Герасимова, Р. Г. Фаизова, Д. В. Захарычев, А. Ф. Сайфина, А. Р. Курбангалиева, О. А. Лодочникова // Журн. структ. химии. – 2022. – Т. 63. – №. 10. – № 99529 [Gerasimova D. P. Stability and reproducibility of the dimeric motif in the crystals of thioethers of 3-bromo-5-hydroxy-1-(4-methylbenzyl)-1,5-dihydro-2*H*-pyrrol-2-ones / D. P. Gerasimova, R. G. Faizova, D. V. Zakharychev, A. F. Saifina, A. R. Kurbanalieva, O. A. Lodochnikova // J. Struct. Chem. – 2022. – V. 63. – №. 10. – P. 1616–1628].

6. **Gerasimova, D. P.** Homochiral vs. heterochiral crystallization of 3-pyrrolin-2-one thioether results in the score 2 : 1 in favour of homochirality / D. P. Gerasimova, D. V. Zakharychev, A. F. Saifina, R. R. Fayzullin, A. R. Kurbanalieva, O. A. Lodochnikova // Cryst. Growth Des. – 2022. – V. 22. – №. 12. – P. 7273–7284.

В диссертации автор ссылается на собственные опубликованные работы. В тексте диссертации отсутствуют материалы без ссылки на автора или источник заимствования.

По материалам диссертации также опубликованы тезисы 8 докладов на международных и всероссийских конференциях.

Специальность, которой соответствует диссертация.

Диссертационная работа Герасимовой Д.П. «Экспериментальное и теоретическое исследование гомо- и гетерохирального типов связывания производных 5-гидрокси-3-пирролин-2-она» соответствует пунктам 1 «Экспериментально-теоретическое определение энергетических и структурно-динамических параметров строения молекул и молекулярных соединений, а также их спектральных характеристик» и 11 «Получение методами квантовой химии и компьютерного моделирования данных об электронной структуре, поверхностях потенциальной и свободной энергии, реакционной способности и динамике превращений химических соединений, находящихся в различном окружении, в том числе в кластерах, клатратах, твердых и жидкокристаллических матрицах, в полостях конденсированных среды и белковом окружении» паспорта специальности 1.4.4. Физическая химия.

Заседание расширенного научного семинара по направлению «Физическая и супрамолекулярная химия, кристаллохимия и спектроскопия» ИОФХ им. А.Е. Арбузова – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН считает, что по актуальности, научной и практической значимости, достоверности полученных результатов, объему, целостности и законченности диссертационная работа Герасимовой Дарьи Павловны «Экспериментальное и теоретическое

исследование гомо- и гетерохирального типов связывания производных 5-гидрокси-3-пирролин-2-она» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание учёной степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

Расширенный научный семинар по направлению «Физическая и супрамолекулярная химия, кристаллохимия и спектроскопия» (протокол № 8 от 14.11.2023 г.) рекомендовал Ученому совету выдать Заключение по диссертационной работе Герасимовой Д.П. Присутствовали: 30 чел. Итоги голосования: «за» – 30, «против» – нет, «воздержались» – нет.

Заключение рекомендовано к утверждению на заседании Ученого совета ИОФХ им. А.Е. Арбузова – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН (протокол № 11 от 20.12.2023 г.). Из 27 членов списочного состава Ученого совета присутствовали 20 человек. Рекомендации и замечания, высказанные на научном семинаре, диссертантом учтены, и соответствующие изменения внесены в текст диссертации. Итоги голосования: «за» – 20, «против» – нет, «воздержались» – нет.

Руководитель
ИОФХ им. А.Е. Арбузова – обособленного
структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН,
доктор химических наук,
член-корреспондент РАН, профессор

А.А. Карасик

Председатель научного семинара по направлению
«Физическая и супрамолекулярная химия,
кристаллохимия и спектроскопия».
ИОФХ им. А.Е. Арбузова – обособленного
структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН,
кандидат химических наук

Р.Р. Заиров

Ученый секретарь
ИОФХ им. А.Е. Арбузова – обособленного
структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН,
кандидат химических наук

А.В. Торопчина