

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.340.04,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.И.  
ЛОБАЧЕВСКОГО», ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ  
СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 28.04.2026 г № 10

О присуждении Пермину Дмитрию Алексеевичу, гражданину РФ,  
ученой степени доктора химических наук.

Диссертация **«Наноконпозиционные керамические материалы на основе оксидов магния и редкоземельных элементов для инфракрасной техники»** по специальности 1.4.1. – **Неорганическая химия (химические науки)** принята к защите 22 января 2026 г (протокол заседания № 1) диссертационным советом 24.2.340.04, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», Российская федерация, 603022, Нижегородская область, г. Нижний Новгород, проспект Гагарина, д. 23 (приказ Министерства науки и высшего образования Российской федерации № 428/нк от 26.05.2025).

Соискатель – Пермин Дмитрий Алексеевич, "16" февраля 1987 года рождения, окончил химический факультет ННГУ в 2008 году, в этом же году поступил в аспирантуру ННГУ. В 2012 году в диссертационном совете, созданном на базе Института химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых РАН, защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата химических наук **«Получение особо чистых нанопорошков оксида иттрия методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза»** по

специальности 02.00.01 – неорганическая химия. В 2025 году присвоено ученое звание доцента по специальности 1.4.1. Неорганическая химия.

В период подготовки работал доцентом на кафедре неорганической химии химического факультета федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» и по совместительству заведующим лабораторией Высокочистых оптических материалов в федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых РАН.

**Диссертация** выполнена на кафедре неорганической химии химического факультета федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского» (ННГУ им. Н. И. Лобачевского) и в лаборатории Высокочистых оптических материалов федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых РАН (ИХВВ РАН)

**Официальные оппоненты:**

**Баннов Александр Георгиевич**, д.х.н., доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории химической технологии функциональных материалов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»

**Ломонова Елена Евгеньевна**, д.т.н., заведующая лабораторией ОНТ НЦЛМТ Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук»

**Евлашин Станислав Александрович**, д.х.н., доцент центра технологий материалов Автономная некоммерческая образовательная организация

высшего образования «Сколковский институт науки и технологий»

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» (г. Москва) в своем **положительном** отзыве, подписанном профессором кафедры химии и технологии кристаллов, д.х.н. Петровой Ольгой Борисовной, доцентом кафедры химии и технологии кристаллов, д.х.н. Аветисовым Романом Игоревичем, ассистентом кафедры химии и технологии кристаллов, к.х.н. Серкиной Ксенией Сергеевной, и утверждённом и.о. первого проректора РХТУ им. Д.И. Менделеева, д.х.н., проф. Козловским Романом Анатольевичем, указала, что диссертация является завершённой научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача создания физико-химических и технологических основ получения новых оптических композитов  $MgO-RE_2O_3$  для фотоники и оптоэлектроники, имеющая существенное значение для развития страны.

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту научной специальности 1.4.1. – Неорганическая химия в пунктах «фундаментальные основы получения объектов исследования неорганической химии и материалов на их основе» (пункт 1); «дизайн и синтез новых неорганических соединений и особо чистых веществ с заданными свойствами» (пункт 2); «взаимосвязь между составом, строением и свойствами неорганических соединений. Неорганические наноструктурированные материалы» (пункт 4).

По актуальности, научной новизне, теоретической практической значимости и достоверности результатов полностью соответствует критериям, установленным пунктами 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени

доктора наук, а её автор Пермин Дмитрий Алексеевич заслуживает присуждения учёной степени доктора химических наук по научной специальности 1.4.1. – Неорганическая химия.

Соискатель имеет 114 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 39 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 20 работ. Опубликованные работы полностью отражают результаты, полученные в диссертации, недостоверных сведений в публикациях не содержится.

**Недостоверные сведения в списке трудов, об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, в диссертации Пермина Д.А. отсутствуют.**

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Fabrication and luminescent properties of erbium-doped  $Y_2O_3$ -MgO and  $Gd_2O_3$ -MgO nanocomposite ceramics/ Balabanov S.S., Permin D.A., Normani S. [et al.] // J.Am.Ceram.Soc.-2025. – Vol. 108. - № e20330.
2. Effect of SHS powder processing on structure formation and optical transmittance of MgO- $Y_2O_3$  composite ceramic / D. A. Permin, L. A. Ketkova, V. A. Koshkin, S. S. Balabanov // Ceramics International. – 2024. – Vol. 50, No. 16. – P. 28947-28954.
3. Оптическая керамика MgO, полученная горячим прессованием с использованием LiF / С. С. Балабанов, А. В. Беляев, В. А. Кошкин, Д. А. Пермин // Неорганические материалы. – 2024. – Т. 60, № 9-10. – С. 1136-1145.
4.  $Dy_2O_3$ -MgO composite ceramics: Fabrication and properties / D. A. Permin, V. A. Koshkin, S. S. Balabanov [et al.] // Ceramics International. – 2024. – Vol. 50, No. 7 Part A. – P. 10940-10946.
5. Erbium-Doped  $Lu_2O_3$ -MgO and  $Sc_2O_3$ -MgO IR-Transparent Composite Ceramics / D. Permin, A. Belyaev, V. Koshkin [et al.] // Nanomaterials. – 2023. – Vol. 13, No. 10. – P. 1620.
6. Influence of SHS Precursor Composition on the Properties of Ytria

- Powders and Optical Ceramics / D. Permin, O. Postnikova, S. Balabanov [et al.] // Materials. – 2023. – Vol. 16, No. 1. – P. 260.
7. Mid-infrared laser operation of  $(\text{Er}_{0.07}\text{La}_{0.10}\text{Y}_{0.83})_2\text{O}_3$  sesquioxide ceramic / S. Balabanov, P. Loiko, L. Basyrova, D. Permin [et al.] // Laser Physics Letters. – 2023. – Vol. 20, No. 4. – P. 045801.
  8. Microwave sintering of IR-transparent  $\text{Y}_2\text{O}_3\text{--MgO}$  composite ceramics / D. A. Permin, S. V. Egorov, A. V. Belyaev [et al.] // Ceramics International. – 2023. – Vol. 49, No. 5. – P. 7236-7244.
  9. Влияние состава композиционной керамики  $\text{MgO}/\text{Y}_2\text{O}_3$  на ее структуру и свойства / Д. А. Пермин, А. В. Беляев, С. С. Балабанов [и др.] // Неорганические материалы. – 2022. – Т. 58, № 6. – С. 666-673.
  10. Fabrication and Magneto-Optical Property of  $(\text{Dy}_{0.7}\text{Y}_{0.25}\text{La}_{0.05})_2\text{O}_3$  Transparent Ceramics by PLSH Technology / D. Zhou, X. Li, T. Wang, D. Permin [et al.] // Magnetochemistry. – 2020. – Vol. 6, No. 4. – P. 70.
  11. Chaika, M. Optical spectra and gain properties of  $\text{Er}^{3+}:\text{Lu}_2\text{O}_3$  ceramics for eye-safe 1.5- $\mu\text{m}$  lasers / M. Chaika, S. Balabanov, D. Permin // Optical Materials. – 2021. – Vol. 112. – P. 110785.
  12. Влияние условий горячего прессования на микроструктуру и оптические свойства композиционной керамики  $\text{MgO--Y}_2\text{O}_3$  / Д. А. Пермин, А. В. Беляев, В. А. Кошкин [и др.] // Неорганические материалы. – 2021. – Т. 57, № 8. – С. 901-909.
  13. Сравнение свойств композиционных керамик  $\text{MgO--Y}_2\text{O}_3$  и  $\text{MgO--Gd}_2\text{O}_3$ , полученных методом горячего прессования / Д. А. Пермин, А. В. Беляев, В. А. Кошкин [и др.] // Инженерно-физический журнал. – 2022. – Т. 95, № 6. – С. 1624-1632.
  14. Hot pressing of  $\text{Yb}:\text{Y}_2\text{O}_3$  laser ceramics with  $\text{LiF}$  sintering aid / S. Balabanov, D. Permin, T. Evstropov [et al.] // Optical Materials. – 2021. – Vol. 119. – P. 111349.
  15. IR-transparent  $\text{MgO--Gd}_2\text{O}_3$  composite ceramics produced by self-

propagating high-temperature synthesis and spark plasma sintering / D. A. Permin, A. V. Belyaev, S. S. Balabanov [et al.] // Journal of Advanced Ceramics. – 2021. – Vol. 10, No. 2. – P. 237-246.

16. IR-transparent MgO-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramics by self-propagating high-temperature synthesis and spark plasma sintering / D. A. Permin, A. V. Belyaev, S. S. Balabanov [et al.] // Ceramics International. – 2020. – Vol. 46, No. 10. – P. 15786-15792.

17. Синхронный термоанализ реакций самораспространяющегося высокотемпературного синтеза порошков оксида скандия / Д. А. Пермин, Е. М. Гавришук, А. М. Кутьин [и др.] // Неорганические материалы. – 2019. – Т. 55, № 2. – С. 168-174.

18. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез порошков Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> для оптической керамики / Д. А. Пермин, А. В. Новикова, Е. М. Гавришук [и др.] // Неорганические материалы. – 2017. – Т. 53, № 12. – С. 1359-1364.

19. Self-propagating high-temperature synthesis of Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopowders using different precursors / D. A. Permin, E. M. Gavrishchuk, O. N. Klyusik [et al.] // Advanced Powder Technology. – 2016. – Vol. 27, No. 6. – P. 2457-2461.

20. Термодинамический анализ условий самораспространяющегося высокотемпературного синтеза нанопорошков оксидов скандия и лютетия / Е. М. Гавришук, О. Н. Ключик, А. М. Кутьин, Д. А. Пермин // Неорганические материалы. – 2015. – Т. 51, № 9. – С. 1039.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы:**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»** (ведущая организация). В качестве замечаний отмечено следующее:

1. Из текста диссертации не ясно насколько разработанные технологии являются масштабируемыми в плане получения керамических образцов большого размера.

2. В явном виде не представлены результаты апробация полученных материалов в реальном секторе экономики.

3. Не ясно о какой химической стабильности идет речь в случае Ge и Si? Стр. 22. *«Большинство материалов представляют из себя диэлектрики, но Ge, Si, GaAs и GaP обладают достаточно малыми значениями ширины запрещенной зоны (0,7; 1,1; 1,4 и 2,2 эВ) и являются полупроводниками, в связи с чем, их оптические свойства ухудшаются при температурах, значительно ниже пределов их химической стабильности.»*

4. По стилю изложения литературного обзора иногда складывается впечатление, что это работа коллектива авторов.

Стр. 52 *«Однако мы не нашли эквивалента названия данного метода в отечественной литературе и поэтому приводим в авторской редакции.»*

Стр. 53. *«На наш взгляд, наиболее точно самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) можно охарактеризовать...»*

Стр. 54 *«Во избежание путаницы мы будем использовать термин СВС.»*

5. В тексте диссертации встречаются неудачные формулировки и выражения: «СЭМ-микроснимки», «СЭМ-микрофотографии» «Фотографии СЭМ» вместо СЭМ изображения.

**Баннова Александра Георгиевича**, д.х.н., доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории химической технологии функциональных материалов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» (официальный оппонент)

В качестве вопросов и замечаний отмечено следующее:

1. Стр. 76. Как быть с уносом частиц при ТГА? Часто съёмка подобных

высокоэнергетических смесей (с горючим) может приводить к выбросу образца из тигля (даже при наличии крышки).

2. Стр. 98. «...ацетат иттрия полностью дегидратируется при 160 °С согласно реакции (33)....На термограмме это отражено в сдвоенном эндотермическом пике с минимумами при температурах 125,5 и 135,5 °С, а также пиком при 171,9 °С.». Если посмотреть на ТГ/ДСК-кривые (рисунок 17) водного ацетата иттрия, то можно сказать, что пик при 171,9°С – это скорее артефакт. Действительно на ДСК-кривой он присутствует, но потери массы по ТГ-кривой нет. Поэтому, вероятнее всего, данный пик – артефакт (наиболее вероятно), либо относится к процессу, который проходит без потери массы (вероятность мала).

3. Стр. 105. Рис. 23. Классические публикации по растворному горению приводят расчеты адиабатической температуры горения от  $\phi$ , в которых максимальная температура достигается при стехиометрическом  $\phi=1,0$  (горючее:окислитель). Непонятно, с чем связана природа максимумов температуры реакции, где  $\phi < 1,0$ . Скорее здесь приведены отношения составов двухкомпонентной смеси  $x$ , например  $(x)\text{Sc}(\text{NO}_3)_3 - (1-x)\text{Sc}(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_3$ .

5. Стр. 109. «При отклонении параметра  $\phi$  в меньшую сторону от стехиометрического значения в равновесных продуктах реакции появляется монооксид углерода и метан (см. рисунок 25б), что увеличивает вероятность загрязнения конечного продукта углеродом.». Хотелось бы найти подтверждение этому микроскопически. Можно ли наблюдать данный углерод с помощью ПЭМ-микроскопии? Есть ли у него морфология частиц сажи?

6. Стр. 118. В таблице 10 указано, что теоретическая плотность ( $\rho(\text{РФА})$ ) при повышении температуры прокали/отжига для фазы  $\text{Y}_2\text{O}_3$  растет, а для фазы  $\text{MgO}$  падает (после СВС – 3,532 г/см<sup>3</sup>, после отжига при 1100°С – 3,497 г/см<sup>3</sup>). Не указана причина такого различия в поведении оксидов при отжиге.

7. Стр. 121. Указано, что фазовый переход для оксида гадолиния является обратимым: «По всей видимости, переход является обратимым и в

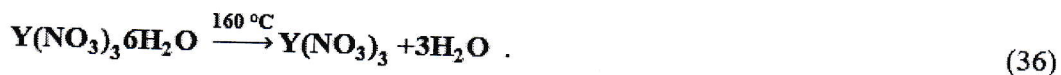
условиях охлаждения в муфельной печи происходит обратное формирование кубического оксида гадолиния». Наблюдается ли подобное явления при нагревании и последующем охлаждении пробы, например при ДСК-анализе?

8. Существуют некоторые опечатки, орфографические ошибки по тексту. Например

- Стр. 91 «ИК микроскопии» (отсутствует дефис между сокращением и словом).

- Стр. 98. Рисунок 17 «...тремического разложения».

- Стр. 99. Указано, что «В отличие от ацетата, нитрат иттрия при температуре 160 °С теряет только молекулы воды [215] (36):



В уравнении потеряны три молекулы воды: в левой части их шесть, в правой – три.

- Стр.119-120. «...увеличение температуры прокаливания с 800 °С до 1000 °С приводит к удвоению размера D(БЭТ) из-за соответствующего уменьшения удельной площади поверхности частиц.» Скорее здесь имелось в виду D(РФА), поскольку речь идет далее (таблица 11) именно об ОКР...

- Стр. 123. Подрисуночная подпись «Индексы Миллера для фазы MgO выделены красным цветом». На рисунке 36 не показано индексов Миллера.

Стр. 179-180. Есть некоторые замечания к теплофизической терминологии используемых величин. Например, коэффициент теплопроводности имеет общепринятое обозначение  $\lambda$ . Тепловое (термическое) сопротивление – это характерный размер, деленный на коэффициент теплопроводности (на стр. 179 указано как  $1/k$ , без учета характерного размера).

**Ломоной Елены Евгеньевны**, д.т.н., заведующая лабораторией ОНТ НЦЛМТ Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М.

Прохорова Российской академии наук» (официальный оппонент)

Оппонент отмечает, что работа оставляет общее положительное впечатление. Однако, несмотря на это, по тексту диссертации имеются некоторые замечания.

1. В обзоре литературы подробно рассмотрены различные методы получения порошков с требуемой морфологией и проведено их сравнение. Однако отсутствует сравнение методов по уровню производительности и возможности их масштабирования, что несомненно представляет интерес, добавило бы полноты обзору по данной тематике, а также подчеркнуло бы правильность выбора автором метода, используемого в работе.
2. При описании микроструктуры порошков  $Y_2O_3 - MgO$ , полученных методом СВС, показано, что частицы размерами 30-50 нм находятся в ячейках, стенки которых имеют толщину 10 нм (рис. 27а, в стр. 112). Оценивался ли, и были ли какие-либо предположения о составе стенок продукта СВС.
3. Подпись к рисунку 28 (стр 114) «Гранулометрический состав порошков  $RE_2O_3 - MgO$  по данным метода динамического светорассеяния» не полная. Согласно тексту диссертации надо было указать: «до (черная) и после ультразвукового диспергирования» (красная линия)».
4. На стр. 159 (рис. 60) приведено пропускание образца  $Y_2O_3^*$  в ИК области, которое лучше остальных полученных керамических материалов  $Y_2O_3 - MgO$  различного состава. Оксид иттрия получен сочетанием «методов горячего прессования и горячего изостатического прессования». Не ясно, являются ли эти данные литературными или получены автором?
5. Для получения магнитооптического материала выбран оксид диспрозия (стр 206), а не оксид тербия, хотя значение константы Верде для  $Tb_2O_3$ , как известно, значительно выше. В чем была мотивация выбора?
6. Присутствует небольшое число неточностей и опечаток: на стр 20 пропущен предлог «в связи с чем»; на стр 116 пропущена буква в слове

«электронной»); встречаются неправильные окончания «действие кристаллического поля» (стр.181); на стр. 104 на рис.23 доля горючего обозначена как  $\varphi$  вместо  $x$ , используемого для обозначения в тексте,

**Евлашина Станислава Александровича**, д.х.н., доцент центра технологий материалов Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования «Сколковский институт науки и технологий» (официальный оппонент) выделяет следующие основные замечания и вопросы по работе

1. В работе не приводится устойчивость материала к термоудару, хотя во введении указывается важность данного параметра.
2. Для порошков важными характеристиками являются не только размер частиц, но и удельная поверхность. Данные приведены не для всех синтезированных порошков.
3. Не указан выход порошков при синтезе. Может ли намол материала влиять на получаемые оптические характеристики?
4. В работе не хватает фотографий спечённых образцов.
5. Проводились ли измерения однородности химического состава синтезированных порошков с помощью ПЭМ?
6. Улучшение пропускания для чистых реагентов связано со снижением содержания Са и других примесей. Однако в таблице 22 для образца «ОСЧ» содержание Са составляет 18 ppm, а для «ХЧ Люм» — 20 ppm. Разница мала. Возможно, ключевую роль играет не Са, а суммарное содержание переходных металлов (Fe, Cr, Ni) или анионных примесей (S, P)?
7. Как присутствие MgO и условия горячего прессования (давление, вакуум, скорость охлаждения) влияют на температуру и необратимость фазового перехода  $Gd_2O_3$ ? Можно ли с помощью подбора состава композита стабилизировать кубическую фазу  $Gd_2O_3$  при высоких температурах?
8. Заявлен порог лазерного пробоя  $>4$  кВт/см<sup>2</sup>. Как измерялась эта величина? Были ли видны признаки разрушения (плазма, трещины) или

наблюдалось лишь насыщение сигнала?

9. При избытке горючего в СВС термодинамически возможно образование не только  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , но и  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ , а также свободного углерода. Проверялось ли содержание углерода в полученных образцах?

10. Для легированных керамик ( $\text{Ho}^{3+}$ ,  $\text{Tm}^{3+}$ ,  $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$  в матрицах  $\text{Sc}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Lu}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Gd}_2\text{O}_3$ ) отсутствуют экспериментальные значения плотности. Без этих данных невозможно корректно разделить вклад рассеяния на остаточной пористости и собственных оптических потерь в люминесцентных измерениях. Каков квантовый выход люминесценции?

11. До какого объёма может быть масштабирован метод синтеза порошков?

12. Не хватает сравнительной таблицы, которая описывала бы свойства полученных материалов и их оптические характеристики.

**Горшкова Владимира Алексеевича**, д.х.н., ведущего научного сотрудника лаборатории Жидкофазных СВС-процессов и литых материалов ИСМАН. В качестве замечаний отмечено следующее:

1. В таблице 4 (стр. 25) приведены значения микротвёрдости керамик разного состава. Указано, что для композитов  $\text{Y}_2\text{O}_3$ - $\text{MgO}$  микротвёрдость составляет около 10,6 ГПа, а для индивидуального  $\text{Y}_2\text{O}_3$ -8,3 ГПа. Не указана нагрузка на индентор при измерениях. Известно, что для керамик с разным размером зерна может наблюдаться инденторный размерный эффект. При какой нагрузке проводились измерения?

2. Разработанная модель интерференционного просветления (глава 8) применена для композита  $\text{Y}_2\text{O}_3$ - $\text{MgO}$  с соотношением фаз 50:50 об.%. Будет ли эта модель работать для других соотношений фаз (например, 70:30 или 30:70) и для других редкоземельных элементов ( $\text{Gd}$ ,  $\text{Lu}$ ,  $\text{Sc}$ ), у которых разница показателей преломления может отличаться?

**Дунаева Анатолия Алексеевича**, д.т.н., старшего научного сотрудника,

главного научного сотрудника АО «НПО ГОИ им. С.И. Вавилова». В качестве замечаний отмечено следующее:

1. Содержание автореферата адекватно тематике заявленных публикаций, однако автор явно поскромничал и не заявил тезисы докладов на конференциях.

2. При исследовании микроструктуры композитной керамики при горячем прессовании автор привлек термин «деагломерация», хотя абзацем ниже это же явление назвал общепринятым «предварительным помолом» (стр. 25), а на следующей странице. просто «размолот».

3. При выборе метода консолидации керамики основным макроскопическим параметром, отражающим процесс спекания, является изменение линейных размеров компакта или усадка (утверждение автора) и игнорируются рекристаллизационные процессы. Почему?

**Головановой Ольги Александровны**, д. г.-м.н., профессора кафедры неорганической химии Омского государственного университета им. Ф.М. Достоевского. Отзыв без замечаний.

**Рыбакова Кирилла Игоревича**, доктора физико-математических наук (01.04.03 – радиофизика), доцента, заведующего сектором теории СВЧ разряда, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ИПФ РАН). В качестве замечаний отмечено следующее:

1. На рис. 5, иллюстрирующем сравнение режимов усадки компактов, для различных методов консолидации по осям отложены различные величины. В частности, по горизонтальной оси для электроимпульсного плазменного спекания и горячего прессования отложено время, а для микроволнового спекания – температура. Это затрудняет сравнение процессов спекания.

2. На рис. 24, иллюстрирующем моделирование спектра оптических потерь композиционной керамики, помещены три кривые, однако подписаны только две из них. Это затрудняет восприятие утверждений, сделанных в тексте автореферата со ссылкой на данный рисунок.

3. В изложении имеются недочеты стилистического характера, например:

- выражения "на больших открытых расстояниях", "предпочтение отдаётся в пользу керамик..." (стр. 1), "снижается количество молей" (стр. 14), "достоинства метода ... являются его же недостатками" (стр. 19) стоит признать неудачными;

- в ряде случаев в предложениях нарушено согласование, например, слова "влиянии" (страница 3, строка 13) "согласованных" (страница 6, строка 3), "основное" (страница 19, строка 8) употреблены в неправильных грамматических формах.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой компетентностью, которая подтверждена значительным количеством публикаций и патентов в области методов получения и исследования характеристик высокодисперсных порошков, композиционных и оптических материалов.**

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**Разработана новая концепция оценки условий протекания самораспространяющегося высокотемпературного синтеза высокодисперсных порошков, позволившая установить взаимосвязь состава прекурсоров, технических параметров синтеза и условий их консолидации с оптическими и механическими свойствами композиционных ИК-прозрачных керамик**

**предложена оригинальная интерпретация влияния остаточных примесей на процесс спекания и оптическое пропускание композиционной керамики**

$Y_2O_3-MgO$ ; в результате исследования формирования примесного состава подтверждены предварительно сформулированные требования к содержанию примесей в исходных порошках для получения композитов с максимальным пропусканием в ИК-диапазоне

**доказана** перспективность новых путей применения композиционных ИК-прозрачных керамик, включая изготовление апконверсионных люминофоров и магнитооптических элементов изоляторов Фарадея; на основании сравнения с однофазными аналогами показан существенный выигрыш в механических и теплофизических характеристиках при сохранении высоких оптических свойств.

Новых терминов и понятий **введено** не было.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

- **доказано** предположение о нарушении в рассматриваемых материалах закона Рэлея, установлены качественно новые закономерности светорассеяния в концентрированных нанокompозитах  $RE_2O_3 - MgO$ , благодаря чему разработана методика определения источников потерь в оптически мягких рассеивающих средах

- **применительно к проблематике диссертации результативно использован** комплекс существующих базовых методов исследования, включая синхронный термоанализ, термодинамический расчёт продуктов СВС, масс-спектрометрию с индуктивно связанной плазмой, рентгенофазовый анализ, просвечивающую и сканирующую электронную микроскопию, адсорбционно-структурный анализ, метод динамического светорассеяния, ИК-спектроскопию, люминесцентную спектроскопию с измерением кинетики затухания, метод гидростатического взвешивания, измерения микротвёрдости и теплопроводности, а также оригинальную методику ИК-микроскопии для визуализации дефектов в объёме материала.

- **изложены** принципы оценки коротковолновой границы пропускания и потерь на рассеяние в композитах  $Y_2O_3-MgO$  с учётом эффектов взаимного влияния фаз (интерференционное просветление, аномальное рассеяние), что

позволило получить описание межзёренного рассеяния, значительно более близкое к реальной картине, чем модель независимых рассеивателей.

- **раскрыты** существенные противоречия полученных экспериментальных результатов с литературными данными относительно перспективности керамики  $Gd_2O_3-MgO$ . Проведено сравнительное исследование с материалом на основе оксида иттрия, показано превосходство керамики  $Y_2O_3-MgO$  в механических и теплофизических свойствах благодаря формированию менее дефектной и стабильной фазовой структуры.

- **изучены** возможности различных методов консолидации СВС-порошков  $RE_2O_3-MgO$  ( $RE = Y, Gd, Sc, Lu$ ) для формирования плотной композиционной микроструктуры с размером зёрен фаз-компонентов на уровне 100 нм, показано, что наилучшим образом целевые характеристики обеспечивает использование метода горячего прессования с резистивным нагревом

- **проведена модернизация** технологического оснащения методики СВС высокодисперсных порошков  $RE_2O_3-MgO$  ( $RE = Y, Gd, Sc, Lu$ ), позволившая проводить синтез с характерным выходом продукта 85-90 %

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

- **разработаны и внедрены** (на уровне лабораторных регламентов и опытных партий) технологии получения СВС-порошков  $RE_2O_3-MgO$  ( $RE = Y, Gd, Sc, Lu, Dy$ ) с контролируемым размером частиц 30–50 нм, а также методики горячего прессования, позволяющие изготавливать ИК-прозрачные керамики с пропусканием до 85 % в диапазоне 3–6 мкм.

- **определены перспективы** практического использования полученных материалов в фотонике: композиты  $RE_2O_3-MgO$ , легированные  $Er^{3+}/Yb^{3+}$  и  $Ho^{3+}$ , могут быть использованы для визуализации мощного ИК-излучения (порог разрушения 4,5 кВт/см<sup>2</sup>); композит  $Dy_2O_3-MgO$  с постоянной Верде  $7,0 \pm 0,3$  рад/(Т·м) на  $\lambda = 1,8$  мкм перспективен для оптических изоляторов и

вращателей Фарадея при условии улучшения микроструктуры.

- **создана** модель спектрального разделения потерь на межзёренное рассеяние и рассеяние дефектами для оценки оптического качества керамики в процессе оптимизации спекания.

- **представлены** методические рекомендации по выбору состава прекурсора СВС (избыток глицина 20 мол.%, Gly 120), условий деагломерации порошков (размол до 200–300 нм) и режиму горячего прессования ( $T=1400-1450$  °С, начало давления при 800–1000 °С) для достижения максимальной прозрачности и однородности композиционной керамики  $Y_2O_3 - MgO$ .

#### **Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

- **для экспериментальных работ** достоверность результатов подтверждается использованием современного технологического и аналитического оборудования (синхронные термоанализаторы, дифрактометры, спектрофотометры, СЭМ/ПЭМ, установки для искрового плазменного и микроволнового спекания), а также воспроизводимостью и согласованностью результатов на разных партиях СВС-порошков и для разных методов консолидации.

- **теория** построена на известных проверяемых данных (фазовые диаграммы  $MgO-RE_2O_3$ , термодинамические базы, классические модели рассеяния Ми и ИТА), согласуется с опубликованными экспериментальными данными по композитам  $Y_2O_3-MgO$

- **идея базируется** на анализе и обобщении литературных данных по методам синтеза нанодисперсных порошков, изготовлению традиционных и анизотропных оптических керамик, а также характеристики структуры композиционных материалов.

- **использовано** сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по каждому этапу получения композиционной керамики – от выбора исходных материалов и реактивов до свойств готовых оптических элементов

- **установлено** качественное и количественное совпадение авторских

результатов (размер зёрен, пористость, ИК-спектры, времена жизни люминесценции) с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике для близких составов и методов спекания, что подтверждает обоснованность выводов.

- **использованы** современные методы физико-химического анализа: рентгенофазовый анализ с уточнением параметров решётки, динамическое рассеяние света для гранулометрии, метод БЭТ для удельной поверхности, дисперсионный анализ оптических спектров с многопараметровой аппроксимацией.

**Личный вклад соискателя** состоит в формулировке научной проблемы, постановке цели и задач, выборе путей и методов их решения, выполнении основной части экспериментальных работ, научном руководстве проводимыми исследованиями, обработке, анализе и обобщении полученных результатов, написании публикаций.

В ходе защиты диссертации членами диссертационного совета критические замечания высказаны не были. Были заданы вопросы о применимости разработанных методик термодинамического анализа реакционных смесей, о масштабируемости экспериментальных подходов синтеза порошков и консолидации их в плотные керамические образцы, о сравнении достигнутых результатов с мировым уровнем, о требованиях к примесному составу и морфологии получаемых порошков.

Соискатель Пермин Д.А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел убедительную аргументацию, основанную на обзоре литературных источников, результатах лично проведённых исследований и фундаментальных основах неорганической химии и смежных наук.

На заседании «28» апреля 2026 г. диссертационный совет принял решение за разработку фундаментальных основ технологии нового класса ИК-материалов – нанокпозиционных керамик оксид магния – оксид редкоземельного элемента, что можно квалифицировать как научное достижение в области неорганической химии, присудить Пермину Д.А.

ученую степень доктора химических наук по специальности 1.4.1. – Неорганическая химия (химические науки).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 5 докторов наук по профилю рассматриваемой специальности, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящего в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 15, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного  
совета 24.2.340.04  
д.х.н., профессор



Князев Александр Владимирович

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
д.х.н., доцент

Буланов Евгений Николаевич

28 апреля 2026 г.