

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.078.04
на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской
академии наук (ИМЕТ РАН)
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____.
решение диссертационного совета от 09 апреля 2026 г. № 2-2026

О присуждении ИСТОМИНОЙ ЕЛЕНЕ ИННОКЕНТЬЕВНЕ, гражданство РФ, учёной степени доктора технических наук.

Диссертация «Кремнийсодержащие МАХ фазы и карбидные материалы в реакциях с участием монооксида кремния» по специальности 2.6.14 – «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов» принята к защите 03.12.2025 г., протокол № 13-2025, диссертационным советом 24.1.078.04 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН), 119334, ГСП-1, г. Москва, Ленинский проспект, д. 49, созданным приказом Минобрнауки РФ № 714/нк от 02.11.2012 г.

Соискатель, Истомина Елена Иннокентьевна, 1978 года рождения, в 2000 году завершила обучение на кафедре физической химии химико-биологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сыктывкарский государственный университет» с присвоением квалификации «Химик. Преподаватель по специальности «Химия» (диплом ДВС 0091779).

18 апреля 2013 года Истоминой Е.И. защищена диссертационная работа на тему «Силицирование карбидов титана и оксикарбидов титана газообразным монооксидом кремния». Решением диссертационного совета Д 002.060.04 ИМЕТ РАН Истоминой Е.И. присуждена ученая степень кандидата химических наук по специальности 02.00.01 - Неорганическая химия (диплом серия ДКН № 187784 от 10 июля 2013 г № 335/нк-12).

В настоящее время соискатель работает в должности старшего научного сотрудника в лаборатории керамического материаловедения Институте химии Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (Институт химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН) и в должности ведущего научного сотрудника лаборатории керамических и композиционных материалов и биоматериалов ИМЕТ РАН.

Диссертационная работа выполнена в лаборатории керамического материаловедения Института химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН и в лаборатории керамических и композиционных материалов и биоматериалов ИМЕТ РАН.

Научный консультант – член-корреспондент РАН, доктор технических наук **Комлев Владимир Сергеевич**, директор ИМЕТ РАН.

Официальные оппоненты:

- 1) **Левашов Евгений Александрович**, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой порошковой металлургии и функциональных покрытий, директор Научно-учебного центра СВС МИСИС-ИСМАН Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»;
- 2) **Пантелеев Игорь Борисович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский Государственный Технологический институт (Технический университет)»;
- 3) **Симоненко Елизавета Петровна**, доктор химических наук, главный научный сотрудник лаборатории физикохимии керамических материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук (ИОНХ РАН);

дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук (ИСМАН), г. Черноголовка, в своём положительном заключении, составленном д.ф.-м.н., профессором, главным научным сотрудником Рогачевым А.С.; подписанном председателем секции Учёного совета ИСМАН, г.н.с. лаборатории жидкофазных СВС-процессов и литых материалов, д.т.н., профессором Юхвидом В.И.; утверждённом заместителем директора по научной работе, д.т.н., профессором Бажиным П.М., отмечают, что диссертационная работа Истоминой Е.И. является завершённым научно-квалификационным трудом, в котором на основе комплексных теоретических и экспериментальных исследований решена важная научно-техническая задача по разработке химико-технологических основ получения новых кремнийсодержащих МАХ фаз, высокоэнтропийных карбидов, керамических и волоконных композитов на их основе. Полученные результаты отличаются высокой степенью научной новизны и практической значимости, имеют большой прикладной потенциал, подтверждённый актами внедрения, патентной защитой и использованием результатов в образовательной деятельности. Работа отвечает всем требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней» ВАК РФ № 842 от 24.09.2013 г., а её автор Истомина Елена Иннокентьевна заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.6.14 – «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов».

Диссертационная работа Истоминой Е.И. была заслушана и обсуждена на секции Учёного совета ИСМАН «Материалообразующие процессы горения и взрыва» (протокол № 2 от 12 февраля 2026 г.). Отзыв составлен на основании доклада, анализа диссертации, автореферата и публикаций Истоминой Е.И.

Ведущая организация в своём положительном заключении делает соискателю замечания:

1) В диссертации сделаны выводы о том, что материалы на основе МАХ-фаз Ti_4SiC_3 имеют перспективы использования в качестве конструкционных и

жаропрочных керамик, превосходящих по свойствам керамику на основе Ti_3SiC_2 . Но механические свойства исследованы в диссертации для материалов на основе Ti_3SiC_2 и данной фазы, легированной цирконием. Было бы целесообразно провести компактирование полученных новых фаз типа Ti_4SiC_3 методами спекания, горячего прессования или электроискрового плазменного спекания, чтобы исследовать механические свойства полученных материалов.

2) Рисунки 3.24 и 3.46 показывают одну и ту же технологическую схему получения продуктов, отличаясь лишь составом исходных реагентов. Целесообразно было бы объединить эти рисунки и представить в начале главы (вместе с рис. 3.1).

3) Результаты Главы 5 показали, что при высоких температурах в атмосфере CO происходит существенная деградация как порошкового продукта синтеза (десилицирование), так и плотной керамики на основе МАХ-фазы Ti_3SiC_2 (коррозия). Но при этом не сделаны ожидаемые выводы о том, можно ли бороться с этим недостатком (и каким образом), либо придется отказаться от использования данной МАХ-фазы в атмосфере горячего CO.

4) Так как полученные материалы характеризуются, в том числе, как конструкционные, было бы целесообразно привести в работе диаграммы «напряжение – деформация», чтобы показать уровень пластичности и характер разрушения данных материалов.

5) Разработанные методики и лабораторные установки позволяют получать порошки и керамические материалы с производительностью лабораторного уровня: десятки – сотни грамм за один синтез. Считаю необходимым представить данные о возможности масштабирования методики с целью организовать промышленное производство порошковых материалов, керамики и волокон.

6) В работе имеется очень небольшое количество опечаток и терминологических неточностей, например: - Стр. 8 «...материала для *тоцевых* уплотнителей...»; - Стр. 84: «Химическое *поглащение* газа...»; - Специальный термин «*анилиф*», который используется в диссертации, относится к области

геологии и характеризует шлифы горных пород, а в порошковой металлургии лучше использовать термины «шлиф» или «сечение образца», хотя смысл от этого не изменяется.

Замечания носят рекомендательный характер, не снижают общей положительной оценки диссертационного исследования и не влияют на научную и практическую значимость полученных результатов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован высоким уровнем компетенции в области технологий силикатных и тугоплавких неметаллических материалов разного состава, наличием публикаций в рецензируемых научных журналах и достижений в области разработки и применения керамических материалов. Высокая научная квалификация и авторитет официальных оппонентов и ведущей организации позволяет объективно оценить научную и практическую значимость представленной диссертационной работы.

По материалам диссертационной работы соискателем опубликовано 100 научных трудов, в том числе 41 статья в рецензируемых российских и международных научных журналах, рекомендованных перечнем ВАК, 8 патентов. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Содержание диссертации изложено в следующих основных публикациях в журналах Журнал неорганической химии, Неорганические материалы, Inorganic Chemistry, Ceramics International, Journal of the European Ceramic Society, Journal of Alloys and Compounds, Materials Letters и др., рекомендованных ВАК и включенных в международные научные базы данных и 8 патентах.

Наиболее значимые работы:

1. Synthesis of bulk Ti_4SiC_3 MAX phase by reduction of TiO_2 with SiC / P. V. Istomin, E. I. Istomina, A. V. Nadutkin, V. E. Grass, M. Y. Presniakov // Inorganic chemistry. – 2016. – Vol. 55. – № 21. – P. 11050–11056.
<https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.6b01601>.

2. **Истомина, Е. И.** Получение Ti_3SiC_2 восстановлением диоксида титана карбидом кремния / **Е. И. Истомина**, П. В. Истомин, А. В. Надуткин // Неорганические материалы. – 2016. – Т. 52. – № 2. – С. 166 – 172. <https://doi.org/10.1134/S0020168516020059>.

3. Оптимизация карбосиликотермического синтеза МАХ-фазы Ti_4SiC_3 / **Е. И. Истомина**, П. В. Истомин, А. В. Надуткин, В. Э. Грасс, А. С. Богданова // Неорганические материалы. – 2018. – Т. 54. – № 6. – С. 554–563. <https://doi.org/10.1134/S0020168518060055>.

4. Fabrication of Ti_3SiC_2 and Ti_4SiC_3 MAX phase ceramics through reduction of TiO_2 with SiC / P. Istomin, **E. Istomina**, A. Nadutkin, V. Grass, A. Leonov, M. Kaplan, M. Presniakov // Ceramics International. – 2017. – V. 43. – № 18. – P. 16128 – 16135. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.08.180>.

5. Fabrication of Ti_3SiC_2 - Ti_4SiC_3 -SiC ceramic composites through carbosilicothermic reduction of TiO_2 / P. Istomin, **E. Istomina**, A. Nadutkin, V. Grass, M. Kaplan // International Journal of Applied Ceramic Technology. – 2019. – Vol. 16. – № 2. – P. 746-752. <https://doi.org/10.1111/ijac.13101>.

6. Synthesis and crystal structure of a novel quaternary Zr_3TiSiC_3 MAX phase / P. V. Istomin, **E. I. Istomina**, A. V. Nadutkin, V. E. Grass // Ceramics International. – 2023. – Vol. 49. – P. 37034 - 37039. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2023.08.261>.

7. Synthesis of novel Zr-rich 312-type solid-solution MAX phase in the Zr-Ti-Si-C system / P. V. Istomin, **E. I. Istomina**, A. V. Nadutkin, V. E. Grass, I. A. Karateev, B. A. Makeev // Journal of the European Ceramic Society. – 2023. – Vol. 43. – P. 3122 – 3130. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2023.02.049>.

8. Enhanced high-temperature flexural strength of Zr-doped Ti_3SiC_2 MAX phase ceramics / P. V. Istomin, **E. I. Istomina**, V. S. Komlev, O. G. Baeva, A. V. Nadutkin, I. M. Belyaev, V. E. Grass // Journal of Alloys and Compounds. – 2025. – Vol. 1038. – 182726. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2025.182726>.

9. Preparation of (Ti,Zr,Hf,Nb,Ta)C high-entropy carbide ceramics through carbosilicothermic reduction of oxides / P. Istomin, **E. Istomina**, A. Nadutkin, V.

Grass, A. Lysenkov, A. Kudryavtsev // Journal of the European Ceramic Society. – 2021. – V. 41. – № 14. – P. 6934 – 6942. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2021.07.012>.

10. Fabrication and characterization of $Ti_3SiC_2-TiB_2-(TiC)-SiC$ composites through carbosilicothermic reduction of leucoxene concentrate / P. V. Istomin, I. M. Belyaev, **E. I. Istomina**, A. V. Nadutkin, V. E. Grass // Ceramics International. - 2022. - Vol. 48. - № 19. - Part A. P. 28480 – 28488. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.06.162>.

11. Влияние условий химического модифицирования порошков TiC на их спекание / **Е. И. Истомина**, П. В. Истомин, А. В. Надуткин, В.Э. Грасс // Неорганические материалы. – 2016. – Т. 52. – № 7. – С. 726 – 733. <https://doi.org/10.1134/S0020168516070074>

12. Effect of silicidation pretreatment with gaseous SiO on sinterability of TiC powders / P. Istomin, **E. Istomina**, A. Nadutkin, V. Grass // Internation Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2016. – Vol. 57. – P. 12 – 18. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2016.02.004>.

13. Corrosion of Ti_3SiC_2 ceramics in a high-temperature CO environment / P. Istomin, **E. Istomina**, A. Nadutkin, V. Grass // Materials Letters – 2020. – Vol. 259. – P. 126763. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.126763>.

14. Получение текстильного материала, состоящего из волокон SiC / **Е. И. Истомина**, П. В. Истомин, А. В. Надуткин, Ю. Ф. Каргин, А. С. Лысенков // Неорганические материалы. – 2018. – Т. 54. – № 8. – С. 831–838. <https://doi.org/10.1134/S0020168518080095>.

15. Synthesis of C/SiC core-shell fibers through siliconization of carbon fibers with SiO gas in semi-closed reactor / P. V. Istomin, **E. I. Istomina**, A. V. Nadutkin, V. E. Grass, A. S. Lysenkov // Ceramics International. – 2021. – Vol. 47. – № 16. – P.22587 - 22593. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.04.270>.

Патентные документы:

1. Способ получения плотной керамики и керамических композитов на основе карбида титана / **Е. И. Истомина**, П. В. Истомин, А. В. Надуткин, В. Э. Грасс // Патент на изобретение. RU 2 553 111 С1 – 2015;

2. Способ получения керамического композита с мультисканальной структурой / П. В. Истомин, А. В. Надуткин, **Е. И. Истомина**, В. Э. Грасс // Патент на изобретение. RU 2 622 067 С1. – 2017;

3. Способ получения текстильных карбидокремниевых материалов / **Е. И. Истомина**, П. В. Истомин, А. В. Надуткин, В. Э. Грасс // Патент на изобретение. RU 2 694 340. – 2019;

4. Способ изготовления керамики на основе карбида кремния, армированного волокнами карбида кремния / М. Г. Фролова, А. С. Лысенков, Ю. Ф. Каргин, Д. Д. Титов, К. А. Ким, С. Н. Перевислов, **Е. И. Истомина** // Патент на изобретение. RU 2 718 682 С2. – 2020;

5. Способ получения керамического композиционного материала на основе карбида кремния, армированного волокнами карбида кремния / М. Г. Фролова, А. С. Лысенков, Ю. Ф. Каргин, К. А. Ким, Д. Д. Титов, **Е. И. Истомина**, В. В. Загоржевский // Патент на изобретение. RU [2 744 543](#) С1. – 2021;

6. Способ получения композиционного материала с керамической матрицей и послойной укладкой армирующего компонента в виде ткани карбида кремния / М. Г. Фролова, А. С. Лысенков, Ю. Ф. Каргин, К. А. Ким, Д. Д. Титов, **Е. И. Истомина**, С. Н. Перевислов // Патент на изобретение. RU 2 749 387 С1. – 2021;

7. Реактор для получения композитных углерод - карбидокремниевых волокон со структурой “сердцевина-оболочка” / **Е. И. Истомина**, П. В. Истомин, А. В. Надуткин, В. Э. Грасс // Патент на полезную модель. RU 206 768 U1. – 2021;

8. Способ получения композитных углерод-карбидокремниевых волокон со структурой “сердцевина-оболочка” / **Е. И. Истомина**, П. В. Истомин, А. В. Надуткин, В. Э. Грасс // Патент на изобретение. RU 2 771 029 С1. – 2022.

На автореферат диссертационной работы поступило **9 отзывов**. Все отзывы **положительные**, имеются рекомендации и замечания:

1. Отзыв Кашкарова Е. Б., д.ф.-м.н., заведующего лабораторией перспективных материалов и обеспечения безопасности водородных энергосистем Отделения экспериментальной физики Инженерной школы ядерных технологий Национального исследовательского Томского политехнического университета (ФГАОУ ВО НИ ТПУ, г.Томск) Замечания и пожелания:

– Некоторые дифрактограммы для синтезированных МАХ-фаз приведены от 30 градусов по углу 2θ , что не позволяет идентифицировать и проанализировать рефлексы в базальной плоскости на малых углах.

– Проводился ли анализ фазового состава уплотнённых образцов? Возможно наблюдались вторичные фазы, так как температура консолидации была достаточно высокой.

– В автореферате не приведены результаты по разделу 10 Главы 3. Не ясно, какой состав конечных продуктов был получен.

– Как оцениваются перспективы масштабирования реактора для синтеза МАХ-фаз? Проводились ли сравнение характеристик предложенного метода и существующих методов производства коммерческих порошков из МАХ-фаз?

2. Отзыв Яценко Е.А., д.т.н. профессора, Заведующего кафедрой «Общая химия и технология силикатов» Южно-Российского государственного политехнического университета имени М. И. Платова» (г. Новочеркасск):

– Неясно, чем объясняется повышение температуры начала газообразования для образцов, в состав которых не вводится элементарный кремний (с. 10).

– Традиционно для подтверждения фазы на рентгенограмме необходимо наличие хотя бы 3 пиков данного соединения. Наличие фазы α -SiC (один слабый пик) на рисунке 6 и фазы $(Zr_{0.85}Ti_{0.15})Si_{2-\delta}$ на рисунке 20 сомнительно и т.д. (рисунок 24а, 39в).

– Из текста автореферата неясно, чем отличаются фазы $(\text{Ti,Zr})_3\text{SiC}_2$ и $(\text{Zr,Ti})_3\text{SiC}_2$ (с. 17).

– Необходимо было провести пояснение для рисунка 22, какой из символов какому элементу соответствует.

– Неясно, зачем на рисунке 35 дважды приведена структура образцов после одного цикла испытаний при разных увеличениях (рисунки б и г).

3. Отзыв Баклановой Н.И., д.х.н., ведущего научного сотрудника лаборатории химического материаловедения, Института химии твёрдого тела и механохимии Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск).

– На с. 4 автореферата Автор пишет, что «предложен новый способ синтеза непрерывных волокон C/SiC со структурой “сердцевина-оболочка” и тканей из них путём силицирования углеволоконных материалов газообразным SiO». Однако можно усомниться в новизне такого подхода. Попытки превратить углеродное волокно конструкционного назначения в карбидокремниевое путём силицирования монооксидом кремния впервые были сделаны MER Corporation примерно 30 лет назад (Kowbel, 1997). После силицирования монооксидом кремния было получено волокно с графитовой сердцевиной, окруженной оболочкой из карбида кремния. Низкая прочность таких волокон не позволила серьёзно рассматривать их как армирующий компонент конструкционных материалов. В этой связи утверждение Автора (см. с. 34 автореферата), что «композитные волокна C/SiC со структурой “сердцевина-оболочка” по сути, являются новым видом керамических волоконных материалов, которые могут найти широкое применение в качестве армирующего компонента при создании высокотемпературных композиционных материалов конструкционного назначения», нуждается в существенной корректировке. Тезис о «применении в качестве армирующего компонента ...материалов конструкционного назначения» в некоторой степени дезавуируется и данными, полученными самим Автором, по прочности модифицированных волокон (с.326 Диссертации). Так, прочность

модифицированных волокон составила всего лишь 480 МПа, что значительно меньше не только прочности исходных углеродных волокон, но и существующих марок SiC волокон конструкционного назначения.

– Автор употребляет термин «непрерывное волокно». Однако экспериментальное оформление процесса в существующем виде допускает поверхностную модификацию лишь небольших отрезков волокон. Для того, чтобы этот метод можно было считать пригодным для поверхностной модификации именно непрерывных волокон необходимо предусмотреть возможность непрерывной подачи волокна с катушки в зону силицирования и, по-видимому, существенно переработать конструкцию реактора.

– В подписи к Рис. 6.27 текста диссертации полученный материал называется «микроканальной керамикой на основе SiC, полученной выжиганием на воздухе при 900 °С углеродной сердцевины ...». К сожалению, никаких доказательств того, что стенки микро каналов состоят именно из SiC, а не из продуктов его частичного или полного окисления (SiO₂) не приводится. Судя по тому, что стенки каналов после окисления стали стекловидными, частичное или полное окисление исключать нельзя.

– Рисунки 25 автореферата и 3.53 диссертации, на которых представлены карты разориентации зёрен, необходимо было бы дополнить изображением углов Эйлера для грамотной интерпретации полученного результата.

4. Отзыв Салищева Г.А., д.т.н., научного руководителя отдела Управления разработки специальных технологий и оборудования Научно-производственной ассоциации «Технопарк Авиационных технологий» (г. Уфа).
Замечания и пожелания:

– После вакуумного карбосиликотермического восстановления автор ожидал, согласно некоторым литературным данным, появления высокоэнтропийной силицидной фазы. Однако в эксперименте это не наблюдалось. Причина этого, по мнению диссертанта, связана с недостаточно большой величиной энтропийного фактора у высокоэнтропийного дисилицида по сравнению с высокоэнтропийным карбидом. Однако, хорошо известно, что

образование и стабильность той или иной фазы не определяется только энтропийным вкладом. Следует учитывать также и величины энтальпии. Вопрос к диссертанту: проводились ли такие оценки? Рецензент не обнаружил такие результаты в работе.

5. Отзыв Романова Д.А., д.т.н., научного сотрудника лабораторного государственного индустриального университета (г. Новокузнецк).

– Среди всех синтезированных кремнийсодержащих МАХ фаз высокотемпературная коррозия в атмосфере газа СО изучалась только у материалов на основе Ti_3SiC_2 . Не понятно, чем обоснован данный выбор?

6. Отзыв Жеребцова Д.А., д.х.н., старшего научного сотрудника кафедры «Материаловедение и физико-химия материалов», Южно-уральского государственного университета (национальный исследовательский университет, г. Челябинск)».

– Не ясно, почему выход продуктов представлен в объёмных процентах, а не в массовых.

7. Отзыв Задиранова А.Н., д.т.н. профессора кафедры процессов горения и экологической безопасности Академии государственной противопожарной службы Министерства РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий.

– Известно, что синтезированные МАХ фазы обладают слабой устойчивостью, находясь в окислительной атмосфере воздуха, особенно при высоких температурах. Представляет интерес, насколько стабильными являются синтезированные автором материалы и при каких температурах наступает их разложение?

– Представляется не слишком обоснованным выбор СО в качестве атмосферы при изучении поведения синтезированной керамики в условиях высокотемпературной коррозии.

– Представляется, что п.1 научной новизны диссертации в большей мере соответствует практической ценности работы.

8. Отзыв Доцента кафедры химической технологии керамики и огнеупоров «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», к.т.н., доцента **Вартамян М.А.**

– В технологии изделий из керамики важную роль играет подготовка формовочной массы, что, как правило, требует дополнительной механической обработки сырьевых смесей с целью их гомогенизации и получения заданного гранулометрического состава. Могут ли полученные в работе *МАХ* фазы подвергаться такой механической обработке, например, помолу с сохранением их структуры и свойств? Какие способы формования автор рекомендует применять для изготовления изделий из полученных в работе порошков.

7. Отзыв Перевислова С.Н., д.т.н., профессора кафедры химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) без замечаний.

В дискуссии по диссертационной работе приняли участие: д.т.н. Красный Б.Л. (ООО «НТЦ «Бакор»); д.х.н. Кецко В.А. (ИОНХ РАН); д.х.н. Казин П.Е. (МГУ им. М.В. Ломоносова); д.т.н. Чернявский А.С.(ИМЕТ РАН); академик РАН, д.х.н. Бузник В.М. (ВИАМ); академик РАН, д.х.н. Иванов В.К. (ИОНХ РАН); к.г.-м.н. Ивичева С.Н. (ИМЕТ РАН); академик РАН, д.т.н. Григорович К.В. (ИМЕТ РАН); д.х.н. Каргин Ю.Ф. (ИМЕТ РАН); д.х.н. Падалко А.Г. (ИМЕТ РАН).

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработаны** химико-технологические основы карбо-силикотермического процесса синтеза *МАХ* фаз в системах Ti–Si–C–O (Ti_3SiC_2 , Ti_4SiC_3), Ti–Zr–Si–C–O (Zr_2TiSiC_2 , Zr_3TiSiC_3), высокоэнтропийных карбидов состава (Ti,Zr,Hf,Nb,Ta)C с использованием в качестве исходных реагентов оксидов переходных металлов 4–5 групп и карбида кремния в роли восстановителя и введения дополнительных восстановителей углерода и кремния;

- **установлено** влияние соотношения исходных компонентов, параметров вакуумного карбосиликотермического восстановления оксидов на формирование кремнийсодержащих *MAX* фаз (Ti_3SiC_2 , Ti_4SiC_3 , Zr_2TiSiC_2 , Zr_3TiSiC_3) и высокоэнтропийных карбидов $(Ti,Zr,Hf,Nb,Ta)C$, а также на прочностные и термомеханические свойства керамических материалов на их основе;

- **показано**, что совмещение в рамках одного химического процесса карботермического и силикотермического восстановления оксидов переходных металлов 4–5 групп с использованием карбида кремния обеспечивает синтез кремнийсодержащих *MAX* фаз с наибольшим выходом: Ti_3SiC_2 – 96 об.%, выход Ti_4SiC_3 – 92 об.%, фазы Zr_3TiSiC_3 – 97 мас.%.

- **выявлены** концентрационные границы существования твёрдых растворов кремнийсодержащих *MAX* фаз в системе $Ti-Zr-Si-C$: $(Ti_{1-x}Zr_x)_3SiC_2$ – x от 0 до 0,22 в обогащённых титаном твердых растворах $(Ti,Zr)_3SiC_2$, x от 0,55 до 0,58 в обогащённых цирконием твердых растворах $(Zr,Ti)_3SiC_2$, соответственно, $(Ti_{1-x}Zr_x)_4SiC_3$ и индивидуальные фазы Zr_2TiSiC_2 , Zr_3TiSiC_3 , методом Ритвельда определены их кристаллографические характеристики;

- **показано, что** фазообразование в системе $Ti-Si-C-O$, в том числе при синтезе фазы Ti_3SiC_2 и модификации карбида титана TiC в газовой атмосфере, содержащей SiO и CO , определяется образованием продуктов силицирования–десилицирования при взаимодействии с монооксидом кремния;

- **осуществлён** синтез непрерывных композитных волокон C/SiC со структурой «сердцевина–оболочка» высокотемпературной силицирующей обработкой углеволоконных материалов в газовой атмосфере, содержащей SiO и CO .

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **разработан** метод синтеза кремнийсодержащих *MAX* фаз, основанный на совмещении в рамках одного высокотемпературного химического процесса карботермического и силикотермического восстановления оксидов металлов с

использованием карбида кремния в качестве восстановителя и дополнительных восстановителей углерода и кремния;

- фазообразование при синтезе кремнийсодержащих *MAX* фаз Ti_3SiC_2 , Ti_4SiC_3 , Zr_2TiSiC_2 , Zr_3TiSiC_3 , высокоэнтропийных карбидов состава $(Ti,Zr,Hf,Nb,Ta)C$ и карбидокремниевых материалов определяется параметрами вакуумного карбосиликотермического восстановления оксидов протекающего в среде газообразного монооксида кремния SiO и обуславливает прочностные и термомеханические свойства керамических материалов на их основе.

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

- **разработаны** химико-технологические основы вакуумного карбосиликотермического восстановления, которые позволяют рассматривать данный метод как конкурентоспособную альтернативу традиционным способам синтеза *MAX* фаз и карбидов. Использование оксидных реагентов и карбида кремния, а также совмещение карбо- и силикотермического восстановления в вакууме делают процесс пригодным для малотоннажного производства порошков кремнийсодержащих *MAX* фаз и высокоэнтропийных карбидов.

- **разработана** технология изготовления плотной керамики на основе Ti_3SiC_2 , Ti_4SiC_3 , твёрдых растворов $(Ti_{1-x}Zr_x)_3SiC_2$ и высокоэнтропийного карбида $(Ti,Zr,Hf,Nb,Ta)C$ методом горячего прессования, обеспечивающая получение материала с высокими прочностными характеристиками в широком диапазоне температур и пригодного для токарно-фрезерной обработки. Разработаны и испытаны керамические заготовки из Ti_3SiC_2 , для торцевых уплотнителей и колец пар трения насосного оборудования, что подтверждается актами внедрения и протоколами испытаний на АО «СЛПК» (г. Сыктывкар).

- **показана** и экспериментально подтверждена применимость метода вакуумного карбосиликотермического восстановления к переработке титанового минерального сырья – лейкоксенового концентрата – с получением конструкционной керамики состава $Ti_3SiC_2-TiB_2-(TiC)-SiC$ с характеристиками, сопоставимыми с материалами из химически чистых реагентов, что

подтверждает возможность ресурсосберегающего использования минерального и техногенного сырья.

- **разработана** технология получения непрерывных композитных волокон C/SiC, изготовлены опытные партии волокон и определены области их применения при создании металлматричных композитов для авиационной промышленности, что подтверждено актами внедрения (акт внедрения с УУНиТ, г. Уфа).

- результаты **внедрены** в учебный процесс при подготовке магистров по направлению «Химия» в Сыктывкарском государственном университете им. Питирима Сорокина, что подтверждено актом внедрения.

- Получены 7 российских патентов и один патент на полезную модель.

Полученные в диссертации результаты целесообразно использовать при разработке и совершенствовании технологий тугоплавких неметаллических материалов и изделий на их основе.

Оценка достоверности результатов исследований подтверждаются высокой степенью методической и экспериментальной проработанности диссертационной работы. Теоретические расчёты, включая термодинамический анализ равновесий и реакций с участием газообразного SiO, выполнены с использованием современных программных средств и сопоставлены с экспериментальными данными. Экспериментальные исследования проведены на большом массиве образцов при варьировании состава шихты и режимов обработки, что обеспечивает воспроизводимость результатов и позволяет выявить устойчивые закономерности фазообразования, структурной эволюции и свойств материалов. Для исследования структуры, фазового и химического состава и характеристик материалов использован комплекс современных методов с взаимной верификацией результатов. Синтезированные соединения кристаллографически охарактеризованы, полученные параметры согласуются с теоретическими оценками и известными литературными данными.

Личный вклад автора:

Личный вклад Истоминой Е.И. в полученные результаты является определяющим и соответствует уровню доктора технических наук. Соискателем сформулированы цель и задачи исследования, обоснована концепция, основанная на использовании газа SiO в процессах синтеза кремнийсодержащих *MAX* фаз, высокоэнтропийных карбидов и композитных волокон C/SiC. Основной массив экспериментальных исследований выполнен при её ведущем участии; ею проведены обработка и интерпретация экспериментальных данных и сформулированы выводы по работе. Истомина Е.И. принимала участие в разработке методологии вакуумного карбосиликотермического восстановления, в проектировании высокотемпературных реакторов и подготовке шихтовых составов, а также в подготовке патентных заявок и внедрении результатов исследований.

Диссертационный совет констатирует, что диссертация Елены Иннокентьевны Истоминой «Кремнийсодержащие *MAX* фазы и карбидные материалы в реакциях с участием монооксида кремния» является завершённым научно-квалификационным трудом, в котором на основе комплексных теоретических данных и результатов экспериментальных исследований решена важная научно-техническая задача по разработке химико-технологических основ получения новых кремнийсодержащих *MAX* фаз, высокоэнтропийных карбидов методом вакуумного карбосиликотермического восстановления, а также керамических и волоконных композитов. Полученные результаты отличаются степенью научной новизны и практической значимости, обладают значительным прикладным потенциалом, подтверждённым актами внедрения, патентной защитой и использованием в образовательной деятельности. По своему содержанию диссертация соответствует паспорту специальности 2.6.14 «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов». Основные объекты исследования — керамические и композитные материалы на основе тугоплавких карбидов и кремнийсодержащих *MAX* фаз, а также композитные волокна C/SiC — относятся к классу тугоплавких неметаллических и композиционных материалов функционального назначения.

Разработанные методы вакуумного карбосиликотермического восстановления оксидов переходных металлов и высокотемпературного силицирования представляют собой новые технологические подходы к получению и переработке тугоплавких неметаллических материалов.

На заседании 09.04.2026 г. диссертационный совет 24.1.078.04 пришел к выводу о том, что диссертация Истоминой Е.И. по своей актуальности и практической значимости соответствует требованиям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (с изменениями и дополнениями), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Истомина Елена Иннокентьевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.14 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 7 докторов наук по научной специальности 2.6.14 и технической отрасли наук, участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 13, против присуждения ученой степени – 0, недействительных бюллетеней – 2.

Зам. председателя
диссертационного совета 24.1.078.04, д.х.н.

А.Г.Падалко

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.1.078.04,
к.г.-м.н.

С.Н. Ивичева

09.04.2026 г.

Подписи академика РАН, д.т.н. К. А. Солнцева и к.г.-м.н. С.Н. Ивичевой заверяю,
Ученый секретарь ИМЕТ РАН,
к.т.н.



 О.Н. Фомина