

## Сведения об официальном оппоненте

по диссертационной работе Ворониной Елены Николаевны на тему:  
«Комплексный подход к контролю химической чистоты в технологиях  
полупроводниковых GaAs и SiC»

### 1. Фамилия, имя, отчество:

Созин Андрей Юрьевич

### 2. Ученая степень, № специальности (отрасль науки), по которой защищена диссертация:

Доктор химических наук, специальность 02.00.02 – Аналитическая химия

### 3. Место основной работы (полное наименование организации, адрес и телефон) и занимаемая должность:

Заведующий лабораторией аналитической химии высокочистых веществ  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт  
химии высокочистых веществ имени Г.Г. Девярых Российской академии наук»

Адрес места работы: Россия 603137, Нижегородская область, г. Нижний  
Новгород, ул. Тропинина, д. 49, e-mail: sozin@ihps.nnov.ru, +7 (920) 024 73 91

### 4. Список основных публикаций по теме диссертации соискателя в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 публикаций):

1. Буланов А.Д., Трошин О.Ю., Лашков А.Ю., Созин А.Ю., Кошкин В.А., Потапов А.М., Отопкова П.А. Получение и определение примесного состава изотопно обогащенного дейтерида кремния-28  $^{28}\text{SiD}_4$  // Журнал неорганической химии. 2026. Т. 71. № 10. С. 1483-1491.
2. Адамчик С.А., Буланов А.Д., Созин А.Ю., Трошин О.Ю., Лашков А.Ю., Котков А.П., Гришнова Н.Д. Поведение молекулярных примесей в процессе криофильтрации изотопно обогащенного моносилана // Неорганические материалы. 2026. Т. 62. № 9. С. 1155-1162.
3. Созин А.Ю., Чернова О.Ю., Сорочкина Т.Г., Трошин О.Ю., Лашков А.Ю., Кошкин В.А., Мерзлякова А.А. Исследование примесного состава

тетрахлорида германия природного изотопного состава и обогащенного изотопом  $^{72}\text{Ge}$  методом хромато-масс-спектрометрии // Перспективные материалы. 2026. №3. С. 81-883.

4. Крылов В.А., Созин А.Ю., Определение молекулярных примесей в высокочистых летучих неорганических веществах, применяемых в микроэлектронике. Обзор. // Неорганические материалы. 2026. Т. 62. № 1. С. 5-27.
5. Чурбанов М.Ф., Скрипачёв И.В., Созин А.Ю., Евдокимов И.И. Методы исследования примесного состава высокочистого селена. Обзор. // Журнал аналитической химии. 2026. Т. 81. № 1. С. 37-49.
6. Адамчик С.А., Буланов А.Д., Котков А.П., Гришнова Н.Д., Трошин О.Ю., Созин А.Ю., Аглиулов Н.Х., Лашков А.Ю., Потапов А.М., Гавва В.А. Получение высокочистых изотопно-обогащенных моносиланов и моногерманов и исследование их примесного состава // Теоретические основы химической технологии. 2026. Т. 60. № 1. С. 105-118.
7. Адамчик С.А. Буланов А.Д., Лашков А.Ю., Трошин О.Ю., Созин А.Ю., Котков А.П., Гришнова Н.Д. Выделение изотопно обогащенных дисилана-28 и дисилоксана-28 из изотопно обогащенного моносилана-28 методом низкотемпературной ректификации // Журнал прикладной химии. 2026. Т. 99. № 8. С. 736-743.
8. Адамчик С.А., Созин А.Ю., Буланов А.Д., Арефьев Д.Г., Зырянов С.М., Палиенко А.А., Совач В.П. Изменение примесного состава моногермана в процессе его обогащения методом ультрацентрифугирования // Перспективные материалы. 2026. № 9. С. 81-88.
9. Созин А.Ю., Чернова О.Ю., Сорочкина Т.Г., Зими́на Д.М., Трошин О.Ю., Буланов А.Д. Определение примесей в изотопно обогащенном тетракис(трифторфосфин) никеле ( $^{58}\text{Ni}(\text{PF}_3)_4$ ) с использованием метода хромато-масс-спектрометрии // Перспективные материалы. 2025. № 12. С. 73-79.
10. Зими́на Д.М., Трошин О.Ю., Созин А.Ю., Отопкова П.А., Потапов А.М. Получение высокочистого тетракис(трифторфосфин)никеля // От химии к технологии шаг за шагом. 2025. Т. 6. № 1. С. 48-54.
11. Зими́на Д.М., Трошин О.Ю., Созин А.Ю. Равновесие жидкость-пар в системах  $\text{Ni}(\text{PF}_3)_4 - \text{CH}_2\text{Cl}_2$  и  $\text{Ni}(\text{PF}_3)_4 - \text{C}_5\text{H}_{12}$  // Вестник Башкирского университета. 2025. Т. 30. № 1. С. 27-31.

12. Созин А.Ю., Чернова О.Ю., Сорочкина Т.Г., Трошин О.Ю., Котков А.П. Исследование примесного состава тетрахлорида кремния методом хромато-масс-спектрометрии // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2024. Т. 90. № 3. С. 5-11.
13. Churbanov M.F., Skripachev I.V., Sozin A.Yu., Evdokimov I.I. Methods for assessing the impurity composition of high-purity sulfur Обзор. // Journal of analytical chemistry. 2024. Vol. 79. No. 8. Pp. 1011-1019.
14. Созин А.Ю., Крылов В.А., Чернова О.Ю., Сорочкина Т.Г., Буланов А.Д., Котков А.П. Некоторые перспективы развития методов анализа высокочистых летучих веществ. Обзор. // Журнал аналитической химии. 2023. Т. 78. № 5. С. 389-395.
15. Созин А.Ю., Скрипачев И.В., Снопатин Г.Е., Евдокимов И.И., Чурбанов М.Ф. Молекулярный и элементный состав примесей в особо чистом селене // Неорганические материалы. 2023. Т. 59. № 5. С. 534-539.

Заведующий лабораторией  
аналитической химии  
высокочистых веществ  
Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
«Институт химии высокочистых  
веществ им. Г.Г. Девярых  
Российской академии наук»

8.10.2026.

  
Андрей Юрьевич Созин

Подпись Созина Андрея Юрьевича удостоверяю.

И.о. ученого секретаря ФГБУН «Институт  
химии высокочистых веществ  
им. Г.Г. Девярых Российской академии наук»  
д.х.н. Ширяев Владимир Семёнович



 08.10.2026.

## **Сведения об официальном оппоненте**

по диссертационной работе Ворониной Елены Николаевны на тему:  
«Комплексный подход к контролю химической чистоты в технологиях  
полупроводниковых GaAs и SiC»

### **1. Фамилия, имя, отчество:**

Денисов Игорь Андреевич

### **2. Ученая степень, № специальности (отрасль науки), по которой защищена диссертация:**

Кандидат технических наук, специальность 5.17.01 – Технология неорганических веществ

### **3. Место основной работы (полное наименование организации, адрес и телефон) и занимаемая должность:**

Начальник лаборатории полупроводниковых соединений A2B6 Акционерного общества «Государственный научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности «Гиредмет» имени Н.П. Сажина»

Адрес места работы: Россия 111524, г. Москва, ул. Электродная, д. 2, стр. 1,  
e-mail: [IDenisov@rosatom.ru](mailto:IDenisov@rosatom.ru), телефон +7 (495) 708 44 66, доб. 31-68

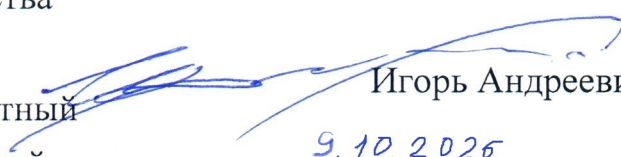
### **4. Список основных публикаций по теме диссертации соискателя в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 публикаций):**

1. Чилясов А.В., Моисеев А.Н., Евстигнеев В.С., Костюнин М.В., Денисов И.А., Трофимов А.А. Морфология поверхности, кристаллическое совершенство и электрофизические параметры гетероструктур CdHgTe/CdZnTe, выращенных МOCVD-методом // Неорганические материалы. 2025. Т. 61. № 1-2. С. 26-32.
2. Трофимов А.А., Денисов И.А., Андрусов Ю.Б., Гришечкин М.Б., Царегородцев Д.О., Косякова А.М., Курепин С.А., Смирнов А.С., Долматов В.Ю. Планаризация эпитаксиальных слоев HgCdTe,

- выращенных на подложках CdZnTe методом жидкофазной эпитаксии // Журнал технической физики. 2025. Т. 95. № 3.
3. Trofimov A.A., Denisov I.A., Grishechkin M.B., Tsaregorodtcev D.O., Goncharov A.E., Gladysheva K.A., Malygin V.A., Kosyakova A.M. Chemical-Mechanical Polishing of CdZnTe Substrates to Achieve the Surface Morphology for the Synthesis of  $A^2B^6$  Solid Solutions by Molecular Beam Epitaxy // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2024. Т. 88. № 9. С. 1496-1500.
  4. Трофимов А.А., Денисов И.А., Гришечкин М.Б., Царегородцев Д.О., Гончаров А.Е., Гладышева К.А., Малыгин В.А., Косякова А.М. Химико-механическое полирование подложек CdZnTe с достижением морфологии поверхности для синтеза твердых растворов  $A^2B^6$  методом МЛЭ // Известия РАН: Серия физическая. 2024. № 9. С. 1484-1489.
  5. Трофимов А.А., Денисов И.А., Андрусов Ю.Б., Гришечкин М.Б., Малахин Г.П., Бондарев В.П. Технология и оборудование для формирования краевого профиля при изготовлении подложек CdZnTe диаметром до 55 мм // Приборы. 2024. № 11. С. 51-55.
  6. Gusev A.O., Denisov I.A., Mazhorova O.S. Numerical Study of Interplay between Double-diffusive Convection and Interfacial Phenomena in Vertical Bridgman Crystal Growth of CdZnTe // Fluid Dynamics. 2024. Т. 59. № 6. С. 1888-1904.
  7. Trofimov A.A., Denisov I.A., Smirnova N. A., Shabrin A.D., Goncharov A.E., Novikova A.A., Mozhaeva M.O., Gladysheva K.A., Kosyakova A.M., Malygin V.A., Kuznetsova S.A., Ilyinov D.V., Sukhanova A.S. Features of Processing of Cadmium Zinc Telluride Wafers for Molecular Beam Epitaxy Growth of Cadmium Mercury Telluride Layers // Journal of Communications Technology and Electronics. 2023. Vol. 68. №. 9. P. 1114-1125.
  8. Трофимов А.А., Ухабин О.А., Смирнов А.С., Курепин С.А., Денисов И.А., Шабрин А.Д., Гончаров А.Е., Новикова А.А., Можаяева А.А., Гладышева К.А., Косякова А.М., Малыгин В.А., Кузнецова С.А., Ильинов Д.В., Суханова А.С., Улькаров В.А., Размахнин И.Д. Применение полировальных суспензий на основе поликристаллического алмаза детонационного синтеза в высокопрецизионных процессах обработки соединения кадмий-цинк-теллур // Успехи прикладной физики. 2022. Т. 10. № 5. С. 459-468.

9. Трофимов А. А., Денисов И.А., Смирнова Н.А., Шабрин А.Д., Гончаров А.Е., Новикова А.А., Можаяева М.О., Гладышева К.А., Косякова А.М., Малыгин В.А., Кузнецова С.А., Ильинов Д.В., Суханова А.С. Особенности подготовки подложек кадмий-цинк-теллур для выращивания эпитаксиальных слоев соединения кадмий-ртуть-теллур методом молекулярно-лучевой эпитаксии // Успехи прикладной физики. 2022. Т. 10. № 3. С. 289-300.

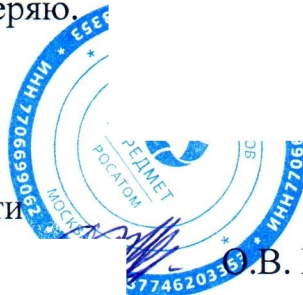
Начальник лаборатории  
полупроводниковых соединений  
А2В6 Акционерного общества  
«Государственный научно-  
исследовательский и проектный  
институт редкометаллической  
промышленности «Гиредмет»  
имени Н.П. Сажина»

  
Игорь Андреевич Денисов

9.10.2026

Подпись Денисова Игоря Андреевича удостоверяю.

Ученый секретарь АО «Государственный  
научно-исследовательский и проектный  
институт редкометаллической промышленности  
«Гиредмет» имени Н.П. Сажина»



  
О.В. Потемкина

## Сведения о ведущей организации

по диссертации Ворониной Елены Николаевны  
«Комплексный подход к контролю химической чистоты в технологиях полупроводниковых GaAsi SiC», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов (химические науки)

|                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Полное наименование организации в соответствии с уставом                                                                                                      | Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом                                                                                                 | ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» или УрФУ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Место нахождения                                                                                                                                              | Свердловская область, город Екатеринбург, улица Мира, дом 19                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Почтовый индекс, адрес веб-сайт, электронный адрес организации                                                                                                | 620062,<br><a href="https://www.urfu.ru">https://www.urfu.ru</a><br><a href="mailto:rector@urfu.ru">rector@urfu.ru</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Адрес официального сайта в сети Интернет                                                                                                                      | <a href="https://www.urfu.ru">https://www.urfu.ru</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Телефон                                                                                                                                                       | +7(343)375-44-44<br>8-800-100-50-44                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Адрес электронной почты                                                                                                                                       | <a href="mailto:rector@urfu.ru">rector@urfu.ru</a><br><a href="mailto:contact@urfu.ru">contact@urfu.ru</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Список публикаций сотрудников ведущей организации по теме диссертации соискателя в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 публикаций) | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lvov, A, Yuzhakov, I, Karavansky, N, Kabykina, E, Kosmachev, V, Pestereva, P, Yuzhakova, A, Salimgareev, D &amp; Zhukova, L 2026, 'The phase diagram, synthesis and optical properties of the AgCl<sub>0.75</sub>Br<sub>0.25</sub> – TlII solid solutions', Journal of Crystal Growth, Том. 695, 128827. <a href="https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2026.128827">https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2026.128827</a></li> <li>2. Pestereva, P, Lvov, A, Yuzhakova, A, Karavansky, N, Kosmachev, V, Kabykina, E, Salimgareev, D &amp; Zhukova, L 2026, 'Radiation stability and microhardness enhancement in AgCl<sub>0.25</sub>Br<sub>0.75</sub> – TlII scintillation materials', Physica B: Condensed Matter, Том. 740, 419028. <a href="https://doi.org/10.1016/j.physb.2026.419028">https://doi.org/10.1016/j.physb.2026.419028</a></li> <li>3. Yuzhakov, I, Pestereva, P, Yuzhakova, A,</li> </ol> |

- Kucherenko, F, Rudenko, A, Lvov, A, Salimgareev, D & Zhukova, L 2026, 'Correlations between physical, electrical and thermal properties of silver halide-based solids', *Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology*, Tom. 328, 119315. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2026.119315>
4. Pestereva P, Lvov A, Salimgareev D, Yuzhakova A, Zhukova L. 2025, «Phase diagram, synthesis and optical properties study of the  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$  – TlI system solid solutions», *Ceramics International*, Tom. 51, № 8, стр. 10061-10068. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.12.437>
5. Yuzhakov I, Salimgareev D, Lvov A, Shmygalev A, Rudenko A, Yuzhakova A, Zhukova L. 2025, «Thermophysical properties of single crystals and ceramics based on thallium and silver halides», *Materialia*, Tom. 39, 102326. <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2024.102326>
6. Yuzhakova A, Lvov A, Salimgareev D, Yuzhakov I, Pestereva P, Zhukova L. 2025, «Radiation-resistant polycrystalline fibers: from production technologies to property studies», *Chinese Optics Letters*, Tom. 23, № 4, 040604. <https://doi.org/10.3788/COL202523.040604>
7. Yuzhakova A, Lvov A, Salimgareev D, Pestereva P, Yuzhakov I, Kondrashin V, Kabykina E, Kucherenko F, Zhukova L. 2024, «Optical properties of crystalline materials based on  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$  –  $\text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$  and  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$  –  $\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$  systems», *Ceramics International*, Tom. 50, № 12, стр. 21767-21778. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.03.289>
8. Zhukova L, Shatunova D, Salimgareev D, Lvov A, Yuzhakova A, Korsakov A, Pestereva P. 2024, «Single crystals and optical ceramics based on solid solutions of  $\text{AgCl}$  –  $\text{AgBr}$  –  $\text{AgI}$  system», *Journal of Crystal Growth*, Tom. 627, 127528. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2023.127528>
9. Salimgareev D, Lvov A, Yuzhakova A, Pestereva P, Shmygalev A, Korsakov A, Zhukova L. 2023, «Optical materials for IR fiber optics based on solid solutions of  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$  –  $\text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}$ ,  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$  –  $\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}$  systems», *Optical Materials*, Tom. 143, 114304. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2023.114304>
10. Salimgareev D, Lvov A, Yuzhakova A, Shatunova D, Pestereva P, Yuzhakov I, Korsakov A, Zhukova L. 2023, «Synthesis and study of single crystals and optical ceramics based on the  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$  –  $\text{AgI}$  system», *Applied Materials Today*, Tom. 32, 101809.

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p><a href="https://doi.org/10.1016/j.apmt.2023.101809">https://doi.org/10.1016/j.apmt.2023.101809</a></p> <p>11. Salimgareev D, Lvov A, Yuzhakova A, Pestereva P, Zhukova L. 2023, «Synthesis of optical materials based on the <math>\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}</math> – AgI system and investigation of their optical properties», Journal of Alloys and Compounds, Том. 938, 168525. <a href="https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.168525">https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.168525</a></p> <p>12. Pestereva P, Yuzhakova A, Lvov A, Salimgareev D, Yudin N, Voevodin V, Sarkisov S, Korsakov A, Zhukova L. 2023, «Optical properties of single crystals and ceramics based on silver and thallium (I) halides in the range of 0.3–30.0 THz», Infrared Physics and Technology, Том. 133, 104858. <a href="https://doi.org/10.1016/j.infrared.2023.104858">https://doi.org/10.1016/j.infrared.2023.104858</a></p> <p>13. Salimgareev D, Yuzhakova A, Lvov A, Kondrashin V, Korsakov A, Zhukova L. 2022, «Optical ceramics based on <math>\text{TlCl}_{0.74}\text{Br}_{0.26}</math> – AgI system transparent from visible to far IR region», Optical Materials, Том. 131, 112735. <a href="https://doi.org/10.1016/j.optmat.2022.112735">https://doi.org/10.1016/j.optmat.2022.112735</a></p> <p>14. Salimgareev D, Lvov A, Zhukova L, Belousov D, Yuzhakova A, Shatunova D, Korsakov A, Ishchenko A. 2022, «Optical properties of the AgBr – AgI system crystals», Optics and Laser Technology, Том. 149, 107825. <a href="https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2021.107825">https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2021.107825</a></p> <p>15. Salimgareev D, Lvov A, Yuzhakova A, Shatunova D, Belousov D, Korsakov A, Zhukova L. 2022, «Investigation of the <math>\text{TlBr}_{0.46}\text{I}_{0.54}</math> – AgI phase diagram within the AgBr – AgI – TlBr – TlI system for optical materials synthesis», Optical Materials, Том. 125, 112124. <a href="https://doi.org/10.1016/j.optmat.2022.112124">https://doi.org/10.1016/j.optmat.2022.112124</a></p> |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Заведующий кафедрой

Физической и коллоидной химии УрФУ,

доктор технических наук, доцент



Д. Д. Салимгареев

12.10.2026

Первый заместитель проректора

по науке УрФУ,

кандидат физико-математических наук



В. В. Кружаев

Учёный секретарь УрФУ,

кандидат технических наук, доцент



Е. А. Морозова

