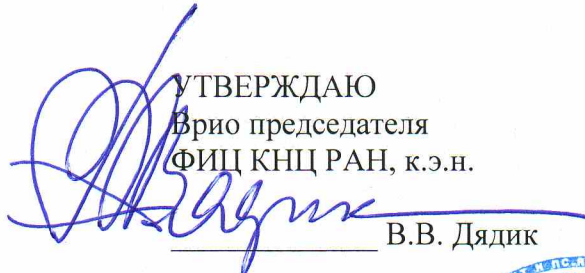


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК»
(ФИЦ КНЦ РАН)

УТВЕРЖДАЮ
Врио председателя
ФИЦ КНЦ РАН, к.э.н.

В.В. Дядик

«17» декабря 2020 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук»

Диссертация «Физико-химические основы технологий оптически высокосоввершенных номинально чистых и легированных нелинейно-оптических монокристаллов ниобата лития с низким эффектом фоторефракции» выполнена в лаборатории материалов электронной техники Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (ИХТРЭМС КНЦ РАН)

В период подготовки диссертации соискатель Бобрева Любовь Александровна работала в должности инженера в лаборатории материалов электронной техники ИХТРЭМС КНЦ РАН

В 2015 году окончила физико-энергетический факультет Кольского филиала Петрозаводского государственного университета по специальности «Теплофизика».

В период с 02.11.2015 г. по 31.10.2019 г. обучалась в аспирантуре при ФИЦ КНЦ РАН по специальности 05.17.01-Технология неорганических веществ.

Справка №186-05/10 об обучении и сдаче кандидатских экзаменов выдана 11.12.2019 г.

Научный руководитель – Сидоров Николай Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Института химии и

технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В.Тананаева – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (ИХТРЭМС КНЦ РАН), профессор, заслуженный химик РФ.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. Оценка выполнения соискателем работы

Диссертационное исследование Бобревой Л.А. «Физико-химические основы технологий оптически высокосовершенных номинально чистых и легированных нелинейно-оптических монокристаллов ниобата лития с низким эффектом фоторефракции» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи разработка методов исследования, позволяющих определить соответствие выращенного кристалла структуре и составу кристалла высокой степени структурного совершенства и композиционной однородности. Решение этой научной задачи имеет очень важное значение для сопровождения технологий высокосовершенных нелинейно-оптических кристаллов LiNbO_3 (в том числе кристаллов, близких к стехиометрическому составу, $R = \text{Li}/\text{Nb} \approx 1$).

Актуальность темы диссертации заключается в том, что кристаллы LiNbO_3 широко используются в телекоммуникационном оборудовании, являются практически единственным материалом для изготовления элементов интегральной оптики: модуляторов, переключателей, затворов и др. Функциональные материалы на основе кристалла ниобата лития востребованы для преобразования лазерного излучения на периодически поляризованных доменах субмикронных размеров. Благодаря уникальным структурным особенностям (кислородно-октаэдрическая фаза переменного состава) практически значимые физические характеристики кристалла можно регулировать в широких пределах путем изменения стехиометрии (отношения Li/Nb) и легирования. При этом существенно изменяется композиционная однородность кристалла. Роль дефектов и тонких особенностей упорядочения структурных единиц катионной подрешетки кристалла является определяющей в формировании его нелинейно-оптических и фоторефрактивных характеристик.

Возможности практического применения и требования к качеству кристалла ниобата лития постоянно повышаются, что делает актуальными задачи совершенствования и контроля всех стадий технологических процессов получения шихты и монокристаллов во взаимосвязи с установлением закономерностей формирования тонких особенностей их структуры и физических характеристик. При этом исследования, направленные на оптимизацию фоторефрактивных свойств и композиционной

однородности монокристалла путем варьирования состава, и особенностей его дефектной структуры, наиболее актуальны.

2. Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

Основные материалы диссертации, обработка и интерпретация ИК-спектров поглощения сделаны самим автором. Эксперименты по КРС, ФИРС, лазерной коноскопии, оптической спектроскопии, анализ результатов, полученных этими методами, их обобщение и интерпретация, теоретические исследования и моделирование выполнены в тесном сотрудничестве с научным руководителем и сотрудниками лаборатории материалов электронной техники ИХТРЭМС КНЦ РАН. Полностью самостоятельно и впервые выполнен анализ и интерпретация комплексных дефектов, обусловленных присутствием ОН-групп в структуре кристаллов ниобата лития разного состава и генезиса, выращенных по технологиям ИХТРЭМС КНЦ РАН.

3. Степень достоверности и результатов проведенных исследований

Достоверность полученных научных результатов обеспечивается использованием запатентованных методов синтеза шихты и выращивания монокристаллов, разработанных в лаборатории материалов электронной техники ИХТРЭМС КНЦ РАН, применением современного оборудования: модернизированной установки для выращивания монокристаллов «Кристалл-2», высокочувствительного спектрометра T64000 фирмы Horiba Jobin Yvon для регистрации спектров КРС, спектрометра IFS 66 v/s фирмы Bruker для регистрации спектров ИК-поглощения, надежно зарекомендовавшими себя установками оригинальной конструкции для регистрации ФИРС и коноскопических картин в широкоапертурных пучках лазерного излучения, спектрофотометра СФ-256 УВИ для регистрации спектров оптического поглощения, высокоточных программ Bonnet Grames, Origin и др. для обработки экспериментальных данных. Представленные в работе экспериментальные результаты хорошо согласуются с имеющимися в литературе данными других авторов по аналогичным исследованиям.

Кроме того, результаты, отраженные в работе, были представлены на следующих российских и международных конференциях: научно-технических конференциях «Научно-практические проблемы в области химии и химических технологий» (Апатиты 2016, 2017, 2018, 2019), VI Всероссийской молодежной научной конференции «Химия и технология новых веществ и материалов» (Сыктывкар, 2016), Всероссийской научно-практической конференции с участием молодых ученых «Инновационные материалы и технологии в дизайне», (Санкт-Петербург, 2016, 2018, 2019), Седьмой Международной конференции «Кристаллофизика и деформационное поведение перспективных

материалов» (Москва, 2017) Международной конференции «Химия и химическая технология» (Ереван, 2017, 2019), VII Всероссийской молодежной научной конференции «Функциональные материалы: синтез, свойства, применение» (Санкт-Петербург, 2018), Международной конференции «Экстракция и мембранные методы в разделении веществ» (Москва, 2018), Четвертом междисциплинарном научном форуме с международным участием «Новые материалы и перспективные технологии» (Москва, 2018), Российской ежегодной конференции молодых научных сотрудников и аспирантов «Физикохимия и технология неорганических материалов» (Москва, 2016, 2017, 2018), 12th International Scientific Conference «Functional Materials and Nano Technologies» (Рига, 2018), II Всероссийской научной конференции «Оптика кристаллов и наноструктур» (Хабаровск, 2018), Международной научной конференции студентов и аспирантов (Мурманск, 2018, 2019), Международной конференции по фотонике и информационной оптике НИЯУ МИФИ (Москва, 2018, 2019), International Conference on «Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications» (Южная Корея, 2018; Вьетнам, 2019) Materials science of the future: research, development, scientific training (Новгород, 2019), Международной научно-технической конференции «Наукоемкие технологии функциональных материалов» (Санкт-Петербург, 2019).

4. Новизна и практическая значимость результатов проведенных исследований

Научная новизна исследования заключается в получении следующих результатов:

1. Впервые метод ИК-спектроскопии поглощения в области валентных колебаний ОН-групп применен для контроля стехиометрии и состояния дефектности близких к стехиометрическому составу кристаллов LiNbO_3 , полученных по разным отечественным технологиям. Показано, что по состоянию дефектной структуры, обусловленной наличием водородных связей в кристалле, близкие к стехиометрическому составу кристаллы $\text{LiNbO}_{3\text{стех.}}$ (6.0 мас.%), исследованные в данной работе, уступают зарубежным аналогам.

2. С применением комплекса методов (ИК-спектроскопия поглощения, спектроскопия комбинационного рассеяния света, фотоиндуцированное рассеяние света, лазерная коноскопия, оптическая спектроскопия) впервые выполнены сравнительные исследования дефектности, композиционной однородности и фоторефрактивных свойств серии монокристаллов одинарного легирования ($\text{LiNbO}_3:\text{Mg}$ (5.26 мол.% MgO), $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}$ (5.38 мол.% MgO), $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$ (2.12 мас.%), $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$ (2.02), $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$ (2.05), $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$ (2.12 мас.%)), полученных по технологиям прямого легирования расплава и по

технологии, использующей гомогенно легированную шихту, синтезированную с применением прекурсоров $\text{Nb}_2\text{O}_5:\text{Me}$ ($\text{Me} = \text{Mg}, \text{Zn}$).

3. Впервые выполнен анализ механизмов образования комплексных дефектов различного типа (обусловленных наличием водородных связей) и динамики их развития в зависимости от состава в сериях кристаллов одинарного легирования $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}(0.19\div 5.91 \text{ мол.}\% \text{ MgO})$ и $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}(0.04\div 6.5 \text{ мол.}\% \text{ ZnO})$, полученных по технологии прямого легирования расплава.

4. Впервые выполнен анализ особенностей вхождения легирующих катионов Mg и Fe в структуру кристалла двойного легирования $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}(5.05 \text{ мол.}\% \text{ MgO}):\text{Fe}(0.009 \text{ мол.}\% \text{ Fe}_2\text{O}_3)$, выращенного из шихты, синтезированной с использованием гомогенно легированного прекурсора $\text{Nb}_2\text{O}_5:(\text{Mg}:\text{Fe})$, а также в структуру кристаллов двойного легирования $\text{LiNbO}_3:\text{Y}(0.24):\text{Mg}(0.63 \text{ мас.}\%)$ и $\text{LiNbO}_3:\text{Gd}(0.25):\text{Mg}(0.75 \text{ мас.}\%)$, полученных по технологии прямого легирования расплава.

5. Впервые показано, что технология гомогенного легирования пентаоксида ниобия Nb_2O_5 , разработанная с применением органических растворителей, позволяет получить кристаллы с более высокой концентрацией OH-групп по сравнению с технологией прямого легирования кристалла.

Практическая значимость исследования выражена в выполнении сопоставления технологии кристаллов LiNbO_3 прямого легирования и технологии, использующей легированную шихту, синтезированную с использованием прекурсора $\text{Nb}_2\text{O}_5:\text{Me}$ ($\text{Me} = \text{Mg}, \text{Zn}$) (метод гомогенного легирования). Показано, что технология гомогенного легирования с использованием органических растворителей приводит к снижению оптической однородности кристалла; выявлению влияния легирующих примесей Mg, Zn, Fe, Gd, Y на концентрацию OH-групп, вид комплексных дефектов (обусловленных наличием водородных связей) и на особенности их локализации в структуре кристаллов LiNbO_3 , полученных по технологии прямого легирования расплава и по технологии гомогенного легирования, использующей прекурсор $\text{Nb}_2\text{O}_5:\text{Me}$ ($\text{Me} = \text{Mg}, \text{Zn}$); формулировке точного спектроскопического критерия соответствия кристаллов ниобата лития высокосоввершенным кристаллам стехиометрического состава. В ИК-спектрах поглощения высокосоввершенных кристаллов, близких к стехиометрическому составу, существует только одна позиция для атома водорода и в области валентных колебаний OH-групп должна наблюдаться только одна узкая линия ($S = 3.0 \text{ см}^{-1}$) с частотой 3466 см^{-1} . При этом в спектре КРС должна отсутствовать линия частотой 120 см^{-1} , соответствующая двухчастичным состояниям акустических фононов $A_1(\text{TO})$ типа симметрии с суммарным волновым вектором, равным нулю

5. Ценность научных работ соискателя

Научные работы соискателя, опубликованные в журналах рекомендованных ВАК РФ, и в прочих изданиях, отражают основное содержание и результаты диссертационного исследования.

Результаты проведенного автором исследования позволяют сделать вывод о том, что по технологии HTTSSG (High temperature top speed solution growth) из конгруэнтного расплава с добавлением флюса ~ 6.0 мас.% K_2O на ростовых установках Кристалл-2 можно получать близкие по составу к стехиометрическим ($Li/Nb \approx 1$) кристаллы $LiNbO_{3\text{стех.}}$ (6.0 мас.% K_2O) приблизительно с такой же дефектностью подрешетки атомов водорода, как и в «стехиометрических» кристаллах $LiNbO_{3\text{стех.}}$, выращенных из расплава, содержащего ~ 58.6 мол.% Li_2O , но значительно превосходящие кристаллы $LiNbO_{3\text{стех.}}$ по общей оптической и структурной однородности. По совершенству подрешетки атомов водорода, связанных с атомами кислорода водородной связью, «стехиометрические» кристаллы $LiNbO_{3\text{стех.}}$ (6.0 мас. % K_2O), исследованные в данной работе, уступают западным аналогам. Отличия в тонких особенностях структуры и в оптических свойствах монокристаллов $LiNbO_3:Mg$, полученных по технологии прямого легирования расплава и из шихты, синтезированной с использованием гомогенно легированного прекурсора Nb_2O_5 , полученного с применением органических растворителей, могут быть обусловлены влиянием органических включений на физические характеристики шихты, полученной с использованием гомогенно легированного прекурсора $Nb_2O_5:Mg$. Методами лазерной коноскопии установлено, что применение прекурсора $Nb_2O_5:Zn$ (2.83 мас.%) для синтеза шихты, приводит к ухудшению оптического качества кристалла, по сравнению с кристаллом $LiNbO_{3\text{конгр.}}$. Однако в ИК-спектрах поглощения в области валентных колебаний ОН-групп наблюдается сужение линий, которое можно объяснить тем, что гомогенное легирование Nb_2O_5 цинком приводит к более сильному упорядочению литиевой подрешетки кристалла $LiNbO_3:Zn$ и подрешетки атомов водорода по сравнению аналогичными подрешетками кристалла $LiNbO_{3\text{конгр.}}$, что является необычным для этой области концентраций примеси.

6. Специальность, которой соответствует диссертация

Диссертационная работа соответствует пункту 2 формулы специальности 05.17.01 - «Технология неорганических веществ» «Технологические процессы (химические, физические и механические) изменения состава, состояния, свойств, формы сырья, материала в производстве неорганических продуктов», пункту 1 области исследований «Химические и физико-химические основы технологических процессов: химический состав и свойства веществ, термодинамика и кинетика химических и межфазных

превращений», пункту 6 области исследований «Свойства сырья и материалов, закономерности технологических процессов для разработки, технологических расчетов, проектирования и управления химико-технологическими процессами и производствами».

7. Полнота изложения материалов диссертации в работах опубликованных соискателем

Результаты исследований представлены в 19 статьях [1–19]. В журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus [1–17]. В журналах, рекомендованных ВАК для публикации основных положений кандидатских и докторских диссертаций [1–11,16,17]. Тезисы докладов не включены в число перечисленных публикаций. Подана заявка на изобретение.

1. Сидоров Н.В., Палатников М.Н., **Бобрева Л.А.**, Новикова Н.Н. Проявление структурных особенностей кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$ и $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}$ в спектре ИК-поглощения в области валентных колебаний ОН-групп // Неорганические материалы. – 2017. – Т. 53. – № 7. – С. 727-731.

2. Сидоров Н.В., **Бобрева Л.А.**, Теплякова Н.А., Палатников М.Н. Комплексные дефекты и оптические свойства кристаллов ниобата лития двойного легирования // Неорганические материалы. – 2018. – Т. 54. – № 10. – С. 1066-1070.

3. Сидоров Н.В., **Бобрева Л.А.**, Палатников М.Н., Новикова Н.Н. Механизмы образования комплексных дефектов в кристалле двойного легирования $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}$ (5.05):Fe(0.009 мол.%) // Неорганические материалы. – 2019. – Т.55. – № 4. – С. 400-404.

4. Сидоров Н.В., Палатников М.Н., **Бобрева Л.А.**, Климин С.А. Комплексные дефекты в стехиометрических кристаллах ниобата лития, полученных по разным технологиям // Неорганические материалы. – 2019. – Т. 55. – № 4. – С. 395-399.

5. Сидоров Н.В., **Бобрева Л.А.**, Теплякова Н.А., Палатников М.Н., Макарова О.В. Сравнительные исследования тонких особенностей структуры и композиционной однородности монокристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}$ (~ 5.3 мол.% MgO), выращенных из шихты различного генезиса // Неорганические материалы – 2019 – Т. 55. – № 11. – С. 1197-1203.

6. Сидоров Н.В., **Бобрева Л.А.**, Палатников М.Н., Макарова О. В. Дефектная структура кристаллов LiNbO_3 , легированных цинком в широком диапазоне концентраций // Неорганические материалы – 2019. – Т.55. – №7. – С. 744-749.

7. Сидоров Н.В., **Бобрева Л.А.**, Маслобоева С. М., Теплякова Н. А., Палатников М. Н., Новикова Н. Н. Синтез гомогенно легированной цинком шихты ниобата лития и сравнительные исследования кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$ различного генезиса // Перспективные материалы. – 2019. – № 2. – С. 68-78.

8. Сидоров Н.В., Теплякова Н.А., **Бобрева Л.А.**, Палатников М.Н. Оптические свойства и дефекты кристаллов двойного легирования $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}(5.04):\text{Fe}(0.009)$ и $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}(4.34):\text{Fe}(0.02 \text{ мол. \%})$ // Журнал структурной химии. – 2019. – Т. 60. – № 11. – С. 1837-1845.

9. Сидоров Н.В., Палатников М.Н., **Бобрева Л.А.** Композиционная однородность и оптические свойства стехиометрических кристаллов ниобата лития различного генезиса // Журнал структурной химии. – 2019. – Т. 60. – № 9. – С. 1434-1444.

10. Сидоров Н.В., **Бобрева Л.А.**, Палатников М.Н. Концентрационные зависимости спектров ИК поглощения в области валентных колебаний ОН-групп конгруэнтных кристаллов ниобата лития, легированных цинком и магнием // Оптика и спектроскопия. – 2017. – Т. 123. – № 2. – С. 246-252.

11. Сидоров Н.В., **Бобрева Л.А.**, Теплякова Н.А., Палатников М.Н., Макарова О.В. Оптические аномалии в кристаллах $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}$ // Оптика и спектроскопия. – 2019. – Т. 127. – № 3. – С. 460-467.

12. Сидоров Н.В., Теплякова Н.А., Палатников М.Н., **Бобрева Л.А.** Исследование структурных перестроек водородных связей в кристаллах $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}$ вблизи пороговой концентрации магния / Журнал прикладной спектроскопии. – 2017. – Т. 84. – № 4. – С. 521-526.

13. Сидоров Н.В., **Бобрева Л.А.**, Теплякова Н.А., Палатников М.Н. Оптические свойства и дефекты конгруэнтных кристаллов ниобата лития двойного легирования // Журнал прикладной спектроскопии. – 2018. – Т. 85. – № 5. – С. 843-849.

14. Сидоров Н.В., **Бобрева Л.А.**, Палатников М.Н. Комплексные дефекты в кристаллах $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}$ и их проявление в ИК-спектре поглощения в области валентных колебаний ОН-групп // Журнал прикладной спектроскопии – 2019. – Т. 86. – № 4. – С. 510-516.

15. Сидоров Н.В., Теплякова Н.А., **Бобрева Л.А.**, Макарова О.В., Палатников М.Н. Особенности дефектной структуры и оптические свойства кристалла $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}(5.05):\text{Fe}(0.009 \text{ мол. \%})$ // Журнал прикладной спектроскопии. – 2020. – Т. 87. – № 3. – С. 418-425.

16. **Бобрева Л.А.**, Маслобоева С.М Сидоров Н.В., Палатников М.Н. Получение и исследование структурных особенностей кристалла $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}(2.12 \text{ мас. \%})$ // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст]: межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2018. – № 10. – С. 124-132.

17. **Бобрева Л.А.**, Маслобоева С.М, Сидоров Н.В., Палатников М.Н. Влияние легирующих примесей Mg и Fe на концентрацию в кристалле ниобата лития комплексных дефектов, связанных с ОН-группами //Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст]: межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2019. – № 11. – С. 97-107.

18. **Бобрева Л.А.**, Маслобоева С.М. Получение твердых прекурсоров $Nb_2O_5:Mg:Fe$ для синтеза гомогенно легированной шихты ниобата лития // Труды Кольского научного центра РАН. – 2017. – Т. 5. – № 8. – С. 34-39.


19. Influence of dopants on the peculiarities of forming of complex defects in a homogeneously doped crystal $LiNbO_3:Mg(5.05 \text{ mol}\%):Fe(0.009 \text{ mol}\%)$ // N. V. Sidorov, **L.A. Bobreva**, S.M. Masloboeva, M.N. Palatnikov // Proceedings of the 2018 International Conference on Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications / eds. I.A.Parinov, Shun-Hsyung, Kim – New York: Nova Science Publishers, 2019. Chapt. 14. – P.111-119

20. Заявка 2020125423 РФ, МПК G01N 21/35, 21/31, G01J 3/28 (2006.01). Способ оценки стехиометрии монокристалла ниобата лития / **Бобрева Л.А.**, Сидоров Н.В., Палатников М.Н.; Федер. гос. бюджетное учреждение науки Федер. исследоват. центр «Кольский научный центрРАН» (ФИЦ КНЦ РАН). - № 2020125423/28; заявл. 22.07.20.

Рецензенты: Колосов Валерий Николаевич, гл.н.с., д.т.н., ст.н.с. ИХТРЭМС КНЦ РАН и Иваненко Владимир Иванович, гл. н.с., д.т.н., доцент ИХТРЭМС КНЦ РАН представили положительные отзывы.

Диссертация «Физико-химические основы технологий оптически высокосоввершенных номинально чистых и легированных нелинейно-оптических монокристаллов ниобата лития с низким эффектом фоторефракции» Бобревой Любови Александровны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.01- Технология неорганических веществ.

Заключение принято на заседании Ученого совета Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В.Тананаева – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (протокол № 10 от 19 декабря 2019 года).


Кузнецов Сергей Александрович,
доктор химических наук, директор
Института химии и технологии редких
элементов и минерального сырья им.
И.В.Тананаева – обособленного
подразделения Федерального
государственного бюджетного учреждения
науки Федерального исследовательского
центра «Кольский научный центр
Российской академии наук»

184209, Россия, Мурманская
область,
г. Апатиты, Академгородок мкр., д. 26а.
Тел. (815-55)7-52-95, (815-55)79-5-49.
Факс (815-55)6-16-58.
E-mail chemi-office@ksc.ru.

Подпись Кузнецова Сергея Александровича, доктора химических наук, директора
Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им.
И.В.Тананаева – обособленного подразделения Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский
научный центр Российской академии наук», заверяю

Ученый секретарь Института химии и технологии редких элементов и
минерального сырья им. И.В.Тананаева – обособленного подразделения Федерального
государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского
центра «Кольский научный центр Российской академии наук»

