



## УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук

д.х.н., профессор РАН  К.А. Брылев

« 14 » февраля 2025 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук

Диссертация «Материалы из однослойных углеродных нанотрубок с фосфором для анодов литий-ионных аккумуляторов» на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия выполнена в Лаборатории физикохимии наноматериалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук (ИНХ СО РАН). В период подготовки диссертации Ворфоломеева Анна Андреевна с 2020 по 2024 год обучалась в очной аспирантуре ИНХ СО РАН. С 2020 года по настоящее время работает в должности младшего научного сотрудника Лаборатории физикохимии наноматериалов ИНХ СО РАН.

В 2020 г. Ворфоломеева А.А. окончила ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» по специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Окотруб Александр Владимирович, заведующий Лабораторией физикохимии наноматериалов ИНХ СО РАН.

**Присутствовали:** 42 человека, в том числе 5 докторов наук и 22 кандидата наук: д-р физ.-мат. наук А.В. Окотруб, д-р хим. наук Л.Г. Булушева, д-р хим. наук В.В. Баковец, д-р хим. наук И.Г. Васильева, д-р хим. наук Н.Ф. Уваров, канд. физ.-мат. наук Ю.В. Федосеева, канд. физ.-мат. наук О.В. Седельникова, канд. физ.-мат. наук Г.И. Сёмушкина, канд. физ.-мат. наук А.Д. Федоренко, канд. физ.-мат. наук Д.В. Городецкий, канд. хим. наук В.И. Сысоев, канд. хим. наук А.С. Загузин, канд. хим. наук Н.А. Пушкаревский, канд. хим. наук В.В. Крисюк, канд. тех. наук В.А. Кузнецов, канд. хим. наук Л.Г. Зеленина, канд. хим. наук В.А. Шестаков, канд. хим. наук М.С. Тарасенко, канд. хим. наук М.С. Лебедев, канд. хим. наук М.Л. Косинова, канд. хим. наук Е.А. Максимовский, канд. физ.-мат. наук В.Р. Шаяпов, канд. хим. наук Е.Н. Ермакова, канд. хим. наук А.Г. Плеханов, канд. хим. наук С.В. Белая, канд. хим. наук Е.В. Шляхова, канд. хим. наук В.Л. Кузнецов.

**Слушали:** доклад сотрудника ФГБУН Института неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН Ворфоломеевой Анны Андреевны по диссертационной работе «Материалы из однослойных углеродных нанотрубок с фосфором для анодов литий-ионных

аккумуляторов», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

Рецензент – канд. хим. наук Кузнецов В.Л.

**Вопросы задавали: канд. хим. наук Косинова М.Л.** (Чем обусловлен выбор именно однослойных углеродных нанотрубок (УНТ)? Что происходит со стенками однослойных УНТ при многократном накоплении заряда в материале во время электрохимических процессов?); **канд. хим. наук Кузнецов В.Л.** (Какое распределение УНТ по внешнему диаметру? Какой внутренний размер УНТ? Как это значение меняется в зависимости от используемой партии материала, представленной производителем? Было ли охарактеризованы текстурные свойства материалов методом ВЕТ? Можете ли Вы оценить объем внутренних пор? Какая доля микропор характерна для образцов? Какой объем пор заполняется фосфором? Объясните противоречие: при моделировании заполняемости фосфором нанотрубок внутрь было помещено 7 цепочек, в то время из эксперимента Вы демонстрируете другой результат (табл.12), а именно, Вы наблюдаете три цепочки фосфора. Каким образом Вы считали число цепочек, вошедших в полость УНТ? Считали ли Вы модельные эксперименты для УНТ, заполненных на 80% по объему фосфором? Хватит ли Вам объема УНТ для этого фосфора? Каким образом фосфор помогает снизить энергетический барьер для проникновения лития, хотя нет локального взаимодействия между атомами?); **д-р хим. наук Васильева И.Г.** (Вы защищаетесь на канд. хим. наук, однако Вы не показали какие химические процессы лежат в основе наблюдаемых эффектов? Какой процесс лежит в основе процесса «открытие трубок»? В каком виде углерод удаляется при этом? За счет чего распадаются пучки нанотрубок на отдельные УНТ при кислотной обработке? Что происходит при обработке ультразвуком; какие химические процессы лежат в основе? Какая структура фосфора образуется при осуществлении охлаждения в процессе заполнения УНТ? Какое давление фосфора было в этот момент в ампуле? Какой объем ампулы, используемой для заполнения? Как Вы установили, что фосфор образует двухцепочные структуры? Объясните, почему на ПЭМ изображениях видны разные структуры? Вы часто апеллируете к литературным данным, а как Вы сами видите эти процессы? Почему так мало показано «химии»?); **д-р хим. наук Баковец В.В.** (Какой эксперимент показывает, что фосфор находится именно внутри, и именно он работает в электрохимических процессах? На слайде 7 результаты какого метода показаны? Каким образом Вы определяете, где находится белый фосфор, а где – красный? Снимали ли Вы дифрактограммы для этих образцов? Визуально, УНТ – не прямые, то есть в них присутствуют структурные дефекты, которые могут изменить наблюдаемые эффекты: насколько допустимо моделировать эффекты на идеально ровных моделях УНТ?); **канд. хим. наук Пушкаревский Н.А.** (Можно ли, зная емкость ячейки, посчитать количество атомов Li, приходящееся на атом P? Есть ли там место, чтобы внутри образовалось соединение предельного состава - Li<sub>3</sub>P?); **д-р хим. наук Уваров Н.Ф.** (В эквивалентной схеме для моделирования проводимости присутствуют 6 элементов – так ли необходимо присутствие каждого из этих элементов? Где параметры для R1-R5?)

Кандидатская диссертационная работа Ворфоломеевой А.А. выполнена в ИНХ СО РАН в период с 2020 по 2025 год.

По итогам обсуждения диссертации «**Материалы из однослойных углеродных нанотрубок с фосфором для анодов литий-ионных аккумуляторов**» принято следующее **закключение:**

Диссертационная работа Ворфоломеевой А.А. выполнялась в соответствии с основным научным направлением ИНХ СО РАН по приоритетному направлению 1.4.2. Научные основы создания новых материалов с заданными свойствами и функциями, в том числе высокочистых

и наноматериалов; раздел 1.4.2.1. Фундаментальные основы получения новых металлических, керамических и углеродсодержащих композиционных материалов, проект «Фундаментальные основы получения и физико-химические свойства новых монокристаллических и пленочных функциональных материалов и углеродных наноструктур» (FWUZ-2021-0006). ЦИТИС:121031700314-5

#### **Личный вклад автора в работу**

Синтезы всех описанных в диссертации материалов с использованием красного фосфора и подбором оптимальных условий, обработка данных РФЭС, NEXAFS, КРС спектроскопии, сборка электрохимических ячеек и исследование электрохимических свойств выполнены диссертантом. Автор диссертации принимал непосредственное участие в анализе и интерпретации данных, полученных различными физико-химическими методами исследований. Планирование экспериментов, постановка задач, решаемых в диссертации, обобщение полученных результатов осуществлялись совместно с научными руководителями аспирантуры. Подготовка научных статей к печати проводилась совместно с соавторами.

#### **Актуальность темы**

С развитием технологий потребность в эффективных и мощных накопителях энергии становится все более актуальной. Литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) находят широкое применение в различных областях – от электроники до источников бесперебойного питания и электротранспорта. Расширение областей применения ЛИА требует дальнейшего увеличения их емкостных и мощностных характеристик, что стимулирует поиск и разработку методик синтеза более эффективных анодных материалов.

Фосфор является перспективным анодным материалом благодаря высокому значению теоретической емкости – 2596 мАч/г и относительно невысокому рабочему потенциалу (~0.8 В отн. Li/Li<sup>+</sup>). Среди всех аллотропов, красный фосфор является коммерчески доступным и достаточно безопасным, а также обладает высокой химической стабильностью. Однако низкая электропроводность красного фосфора (~10<sup>-14</sup> См/см), а также сильное объемное расширение (> 300%) при взаимодействии с литием приводят к разрушению электрода, быстрой потери емкости и нестабильной работе ЛИА. Внедрение фосфора во внутреннее пространство однослойных ОУНТ (ОУНТ) – цилиндрических электропроводящих и электрохимически стабильных оболочек, позволяет защитить его от окисляющего воздействия окружающей среды и обеспечивает повышение мощности и стабильности работы ЛИА во время процессов заряда-разряда. В настоящее время отсутствуют технологии и химические методики для контролируемого получения ОУНТ с высокой степенью заполнения фосфором и результаты электрохимических испытаний материалов в качестве анодов ЛИА.

ОУНТ марки Tuball<sup>TM</sup> компании OCSiAl являются сравнительно недорогим коммерческим продуктом, производимым в количестве нескольких десятков тонн, и имеют потенциальные возможности для дальнейших практических приложений. По сравнению с другими ОУНТ, данные нанотрубки имеют большой диаметр (от 1.6 до 2.9 нм), что может обеспечить получение материалов с высоким соотношением P:C, благодаря значительному объему внутренней полости. Несмотря на высокое качество (чистота, отсутствие дефектов и углеродных примесей) нанотрубок Tuball<sup>TM</sup>, они имеют склонность к агломерации, образованию больших пучков и протяженную длину, что ограничивает полноту заполнения фосфором, а впоследствии, затрудняет диффузию лития. Для решения этих проблем в настоящей работе предлагаются методики по модификации структуры ОУНТ, приводящие к более эффективному взаимодействию ОУНТ с фосфором и увеличению емкости ЛИА.

## **Цель работы**

Целью работы является разработка методик синтеза гибридных материалов фосфор-заполненных однослойных углеродных нанотрубок и установление взаимосвязей между параметрами синтеза, составом, строением материала и его электрохимическими характеристиками в литий-ионном аккумуляторе.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- оптимизация параметров заполнения ОУНТ фосфором методом испарения-конденсации, подбор условий очистки для удаления фосфора с поверхности ОУНТ;
- исследование влияния модификации структуры ОУНТ с использованием ультразвуковой обработки или горячих минеральных кислот с последующим отжигом на состав материала и структуру фосфора;
- диагностика структуры фосфор-заполненных ОУНТ методами электронной микроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния света и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, выявление взаимодействий между компонентами материала;
- исследование фосфор-заполненных ОУНТ в качестве анодов ЛИА и установление взаимосвязей между особенностями структуры и электрохимическими характеристиками материала.

## **Научная новизна**

Впервые проведено методологическое исследование влияния различных параметров (аллотропной модификации фосфора, температуры и времени синтеза, формы реактора) на заполнение фосфором ОУНТ марки Tuball<sup>TM</sup> компании OCSiAl. Пространственное разделение реагентов, использование высокой температуры синтеза 800 °С, длительное время синтеза в течение 48 часов и избыток фосфора приводят к увеличению степени заполнения. Показано, что водный раствор гидроксида натрия (2.5 М) является эффективным растворителем остаточного поверхностного фосфора. С использованием метода просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (ПЭМ ВР), и моделирования изображений, и спектров КРС установлено образование цепочечных структур волокнистого фосфора внутри ОУНТ. Впервые продемонстрирован перенос электронной плотности с нанотрубок на инкапсулированные цепочки фосфора. Высокая стабильность >90% фосфор-заполненных ОУНТ в процессе заряда-разряда ЛИА в течение более 1000 циклов при высокой плотности тока 5 А/г связана с синергетическим эффектом высокоемкостного фосфора и проводящих ОУНТ, отсутствием неактивного поверхностного окисленного фосфора и наличием нескольких каналов диффузии ионов лития к инкапсулированному фосфору. Предложена методика предварительной обработки ОУНТ посредством ультразвукового воздействия, позволяющая эффективно уменьшать размер пучков ОУНТ и укорачивать их длину. Обработка позволила увеличить содержание фосфора в гибридном материале в 2 раза до 18 ат% и увеличить емкость гибридного материала в ЛИА в 1.5 раза. Показано, что двухступенчатая обработка горячими минеральными кислотами с последующим отжигом в атмосфере аргона приводит к расщеплению пучков нанотрубок и образованию вакансий в боковых стенках ОУНТ. Продemonстрировано влияние дефектов ОУНТ на кристаллизацию фосфора во внутренних полостях нанотрубок. Методом РФЭС показано более эффективное взаимодействие лития с дефектными фосфор-заполненными ОУНТ с образованием Li<sub>x</sub>P. Электрохимические испытания в ЛИА подтвердили, что дефектные ОУНТ, заполненные слабо кристаллизованным фосфором, могут способствовать диффузии и накапливать большее

количество лития, приводя к увеличению удельной емкости в 2 раза по сравнению с необработанными фосфор-заполненными ОУНТ.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Разработана методика синтеза поверхностно-чистых фосфор-заполненных ОУНТ с высокой степенью заполнения (>10 ат%), что практически в 2 раза превышает имеющиеся в литературе значения. Полученный гибридный материал продемонстрировал емкость в ЛИА 1545 и 1006 мАч/г (в пересчете на массу фосфора) при плотностях тока 0.1 и 5 А/г, соответственно, что является одним из лучших показателей среди подобных материалов, описанных в литературе. Дополнительным преимуществом является сохранение емкости в течение более 1000 циклов при высокой плотности тока 5 А/г. Впервые показано влияние дефектов в стенках ОУНТ на формирующуюся внутри нанотрубки структуру фосфора. Продемонстрирован положительный эффект различных методов предварительной обработки ОУНТ на заполнение фосфором и последующее взаимодействие гибридных материалов с литием. Использование коммерческих ОУНТ марки Tuball™ позволило синтезировать не только новые неописанные ранее в литературе функциональные материалы, но и установить взаимосвязи между строением и составом гибридных материалов фосфор/ОУНТ, параметрами синтеза и предобработки ОУНТ. Результаты и подходы, изложенные в работе для промышленно производимых ОУНТ, могут быть масштабированы и использованы для дизайна новых материалов не только в качестве отрицательных электродов ЛИА, но и для других приложений.

#### **Оценка достоверности результатов исследований**

Достоверность представленных результатов и выводов диссертации определяется согласованностью экспериментальных данных, полученных разными методами. Публикации по теме работы в рецензируемых журналах и апробация результатов работы на российских и международных конференциях подтверждают значимость и информативность полученных результатов.

#### **Соответствие специальности 1.4.4. Физическая химия**

Диссертационная работа соответствует направлениям исследований 9. «Связь реакционной способности реагентов с их строением и условиями протекания химической реакции», 12. «Физико-химические основы процессов химической технологии и синтеза новых материалов» научной специальности 1.4.4. Физическая химия.

#### **Полнота опубликования результатов**

По теме диссертационной работы опубликовано пять статей в международных журналах, которые входят в перечень индексируемых в международных системах научного цитирования Web of Science и Scopus. В материалах международных и российских конференций опубликованы тезисы пятнадцати докладов.

**Основные результаты работы изложены в следующих публикациях в рецензируемых изданиях:**

1. A. Impellizzeri, A. A. Vorfolomeeva, N. V. Surovtsev, A. V. Okotrub, C. P. Ewels, D. Rybovskiy, Simulated Raman spectra of Bulk and Low-dimensional Allotropes // Phys. Chem. Chem. Phys. – 2021. – V. 23, No. 111. – P. 16611-16622.
2. D. V. Rybkovskiy, V. O. Koroteev, A. Impellizzeri, A. A. Vorfolomeeva, E. Yu. Gerasimov, A. V. Okotrub, A. L. Chuvilin, L. G. Bulusheva, C. P. Ewels, “Missing” one-dimensional red-Phosphorus chains encapsulated within single-walled carbon nanotubes // ACS Nano – 2022. – V. 16, No. 4. – P. 6002-6012.
3. A. A. Vorfolomeeva, N. A. Pushkarevsky, V. O. Koroteev, N. V. Surovtsev, A. L. Chuvilin, E. V. Shlyakhova, P. E. Plyusnin, A. A. Makarova, A. V. Okotrub, L. G. Bulusheva, Doping

of carbon nanotubes with encapsulated phosphorus chains // *Inorg. Chem.* – 2022. – V. 61, No. 25. – P. 9605–9614.

4. A. A. Vorfolomeeva, S. G. Stolyarova, I. P. Asanov, E. V. Shlyakhova, P. E. Plyusnin, E. A. Maksimovskiy, E. Yu. Gerasimov, A. L. Chuvilin, A. V. Okotrub, L. G. Bulusheva, «Single-walled carbon nanotubes with red phosphorus in lithium-ion batteries: effect of surface and encapsulated phosphorus // *Nanomaterials* – 2023. – V. 13, No. 1. – 153.

5. A. A. Vorfolomeeva, Yu. V. Fedoseeva, E. V. Shlyakhova, K. A. Kovalenko, A. A. Makarova, E. Yu. Gerasimov, A. V. Okotrub and L. G. Bulusheva, Synergistic effect of sidewall holes and encapsulated phosphorus to improve lithium storage in single-walled carbon nanotubes // *J. Mater. Chem. A* – 2025. – V. 13. – P. 4634-4649.

**Материалы диссертационной работы представлены на конференциях:**

1. A. A. Vorfolomeeva, S. G. Stolyarova, L. G. Bulusheva, A. V. Okotrub, Phosphorus-filled single-walled carbon nanotubes: synthesis, characterization and electrochemical properties // First virtual Bilateral Conference on Functional Materials (BiC-FM) –Онлайн, 2020. С. 102.

2. A. A. Vorfolomeeva, S. G. Stolyarova, L. G. Bulusheva, A. V. Okotrub, Electrochemical properties of phosphorus-filled single-walled carbon nanotubes // 15th International Conference Advanced Carbon Nanostructures ACNS'2021 – Онлайн, 2021. С. 123.

3. А. А. Ворфоломеева, Л. Г. Булушева, А. В. Окотруб, Заполнение однослойных углеродных нанотрубок фосфором для улучшения электрохимических свойств литий-ионных аккумуляторов // Первая школа молодых ученых «Электрохимические устройства: процессы, материалы, технологии» – г. Новосибирск, Россия, 2021. С. 73.

4. А. А. Ворфоломеева, Л. Г. Булушева, А. В. Окотруб, Исследование строения и электрохимических свойств, фосфор-заполненных однослойных углеродных нанотрубок // IV Байкальский материаловедческий форум – г. Улан-Удэ и побережье оз. Байкал, Россия, 2022. С. 259.

5. А. А. Ворфоломеева, С. Г. Столярова, Л. Г. Булушева, А. В. Окотруб, Гибридные материалы на основе красного фосфора и однослойных углеродных нанотрубок для анодов литий-ионных аккумуляторов // VI Школа-конференция молодых учёных «Неорганические соединения и функциональные материалы» ICFM-2022 – г. Новосибирск, Россия, 2022. С. 45.

6. A. A. Vorfolomeeva, S. G. Stolyarova, A. V. Okotrub, L. G. Bulusheva, Phosphorus – single-walled carbon nanotubes hybrid materials as anodes for lithium-ion batteries // XVII Международная конференция «Актуальные проблемы преобразования энергии в литиевых электрохимических системах» – г. Москва, Россия, 2022. С. 90-91.

7. A. A. Vorfolomeeva, A. V. Okotrub, L. G. Bulusheva, Single-Walled Carbon Nanotubes with Surface and Encapsulated Red Phosphorus for Lithium-Ion Batteries // X International Scientific Conference «Actual problems of solid state physics» – г. Минск, Беларусь, 2023. С. 516.

8. А. А. Ворфоломеева, А. В. Окотруб, Л. Г. Булушева, Однослойные углеродные нанотрубки с красным фосфором в литий-ионных аккумуляторах: влияние поверхностного и инкапсулированного фосфора // Четвертая российская конференция «Графен: молекула и 2D-кристалл» – г. Новосибирск, Россия, 2023. С. 33.

9. А. А. Ворфоломеева, Ю. В. Федосеева, А. В. Окотруб, Л. Г. Булушева, Влияние кислотной обработки однослойных углеродных нанотрубок на взаимодействие с фосфором и литием // Международная конференция "Наноуглерод и Алмаз" (НиА'2024). Школа-конференция молодых ученых "Наноуглерод и Алмаз. Получение, свойства, применения и методы диагностики" – г. Санкт-Петербург, Россия, 2024. С. 116.

10. А. А. Ворфоломеева, Л. Г. Булушева, А. В. Окотруб, Влияние модификации однослойных углеродных нанотрубок на взаимодействие с фосфором и литием // Шестнадцатая Международная конференция «Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология» – г. Москва, Россия, 2024. С. 63.

**Ценность научных работ** соискателя ученой степени заключается в предложенных методиках эффективного заполнения ОУНТ фосфором с достижением высоких степеней заполнения, превышающими более чем в 2 раза литературные данные. Разработанная в диссертации методика очистки позволила существенно улучшить электрохимические характеристики материалов в ЛИА. Предложенная методика модификации ОУНТ позволила получить материал с высоким значением удельной емкости ~950 мАч/г, что представляет интерес для реальных приложений.

Соавторы публикаций не возражают против использования материалов перечисленных работ в диссертации А. А. Ворфоломеевой. Опубликованные работы полно отражают содержание диссертационной работы.

При обсуждении работы выступили: **д-р физ.-мат. наук Окотруб А.В.** (научный руководитель), **канд. хим. наук Кузнецов В.Л.** (рецензент), **д-р хим. наук Уваров Н.Ф.**, **д-р хим. наук Васильева И.Г.**, **д-р хим. наук Баковец В.В.**. В ходе активного обсуждения участниками семинара диссертационной работы Ворфоломеевой А.А. отмечено, что представленная работа является бесспорно актуальной, современной, сложной и трудоемкой. Достоверность и качество результатов обеспечивается привлечением широкого набора современных, высокотехнологических физико-химических методов, позволивших получить данные высокого качества и собрать доказательную базу, объясняющую высокие значения емкостей и объясняющую наблюдаемые электрохимические процессы. Таким образом, научная новизна и практическая значимость результатов не вызывают сомнений. Существует уверенность, что результаты данной работы могут быть полезны для такой современной энергетической компании РФ, как ООО «Рэнера», занимающейся разработкой и производством литий-ионных накопителей энергии. Рецензентом отмечено, что все поставленные перед диссертантом задачи были решены. Тем не менее, участниками семинара были высказаны некоторые замечания и пожелания, которые помогут улучшить понимание и восприятие материала при защите диссертации: рекомендуется показать импедансы для электрохимической ячейки исходной, работающей во время и после накопления заряда; рекомендуется не допускать жаргонные выражения и быть аккуратнее с используемой терминологией при демонстрации материала; рекомендуется в доклад вставить распределение УНТ по диаметру и провести оценку внутреннего объема микропор исходного и литированного материала; вывод 5 рекомендуется переформулировать, а «%» рекомендуется заменить на физическую единицу измерения; рекомендуется в выводах 1 и 2 вставить больше количественных данных.

Рецензент **канд. хим. наук Кузнецов В.Л.** подчеркнул, что объем диссертационной работы имеет достаточную наполняемость (157 страниц, работа разделена на введение, три главы, выводы; список литературы содержит 209 источников литературы). Работа сделана хорошо и является разноплановой, комбинирующей в себе данные из области неорганической и физической химии. Все цели, поставленные в работе, были решены. Особо отмечено, что диссертант очень трудолюбив и аккуратен, о чем свидетельствует большой объем воспроизводимых электрохимических данных. Рецензент рекомендовал поработать над текстом диссертационной работы с целью усилить ее положительные стороны. Тем не менее,

замечания, сделанные им, несущественны по сравнению с объемом и качеством сделанной работы и значимостью полученных научных и практических результатов, а диссертационная работа полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам, соответствует диссертационному совету ИНХ СО РАН и может быть рекомендована к защите.

Научный руководитель диссертационной работы **д-р. физ-мат. наук Окотруб А.В.** охарактеризовал диссертанта как тщательного, трудолюбивого, позитивного и исполнительного экспериментатора-исследователя, способного не только решать самостоятельно научные задачи, но и получать финансирование на свою работу написанием грантов. В целом, диссертант является сформировавшимся научным работником.

Работа отвечает требованиям п. 9–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемых ВАК РФ к кандидатским диссертациям.

**ПОСТАНОВИЛИ:** Диссертация Ворфоломеевой Анны Андреевны «Материалы из однослойных углеродных нанотрубок с фосфором для анодов литий-ионных аккумуляторов» отвечает требованиям п. 9–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемых к кандидатским диссертациям, соответствует специальности 1.4.4. Физическая химия (химические науки) и рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата химических наук.

Заключение принято на заседании семинара Отдела химии функциональных материалов ИНХ СО РАН. Присутствовало на заседании 42 человека. Результаты голосования «за» – 42 (сорок два), «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол № 808 от 12 февраля 2025 г.

Председатель семинара  
г.н.с. Лаборатории физикохимии наноматериалов  
д-р хим. наук



Булущева Любовь Геннадьевна

Секретарь семинара  
с.н.с. Лаборатории физикохимии наноматериалов  
к.х.н.



Шляхова Елена Валентиновна