

Заключение диссертационного совета МГУ.014.6
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук
Решение диссертационного совета от «26» ноября 2025 г № 169

О присуждении Буняеву Виталию Андреевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата химических наук.

Диссертация «Модификация оксида графена и углеродных нанотрубок с применением меченных тритием соединений» по специальности 1.4.13 Радиохимия (химические науки) принята к защите диссертационным советом «24» сентября 2025, протокол № 160.

Соискатель Буняев Виталий Андреевич, 1992 года рождения, в 2017 окончил факультет технологии неорганических веществ и высокотемпературных материалов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» по программе магистратуры. Буняев Виталий Андреевич обучался в очной аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» кафедры радиохимии химического факультета по направлению 04.06.01 – «Химические науки» с 01.10.2017 г. по 30.09.2021 г.

Соискатель работает в должности лаборанта в лаборатории радионуклидов и меченых соединений кафедры радиохимии химического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», а также младшим научным сотрудником лаборатории радиохимии и окружающей среды Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН). Буняев Виталий Андреевич прикреплен к кафедре радиохимии химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова для подготовки диссертации с 01.06.2025 по 31.12.2025 (приказ № 2297ас от 14.05.2025).

Диссертация выполнена в лаборатории радионуклидов и меченых соединений кафедры радиохимии химического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Научный руководитель – кандидат химических наук, доцент **Бадун Геннадий Александрович**, доцент кафедры радиохимии химического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Официальные оппоненты:

Розенкевич Михаил Борисович – доктор химических наук, профессор, профессор кафедры технологии изотопов и водородной энергетики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»;

Герман Константин Эдуардович – доктор химических наук, главный научный сотрудник с возложением обязанностей заведующего лабораторией химии технеция, Федеральное

государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук;

Матвеевко Владимир Николаевич – доктор химических наук, профессор, профессор кафедры коллоидной химии Химического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» –

дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов основывался тем, что Розенкевич Михаил Борисович является признанным специалистом в области радиохимии, физико-химических методов и технологий разделения изотопов водорода, гомогенного и гетерогенного катализа; Герман Константин Эдуардович – высококвалифицированный эксперт в области радиохимии, химии радиоактивных элементов, в получении и применении меченых соединений; Матвеевко Владимир Николаевич является заслуженным специалистом в области коллоидной химии, поверхностных явлений в гетерогенных системах, физико-химической механики. Публикации официальных оппонентов близки по своей направленности к теме рассматриваемой диссертационной работы.

Соискатель имеет 29 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации - 6, из них 5 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.4.13 Радиохимия (химические науки):

1. Bunyaev V.A., Comparison analysis of graphene oxide reduction methods / Bunyaev V.A., Chernysheva M.G., Popov A.G., Grigorieva A.V., Badun G.A. // Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures. - 2020. - V. 28. - № 3. - P. 191–195. EDN: EPNUMZ (Импакт-фактор 0.362 (SJ), Q3, 0.6 п.л./25%)

2. Чернышева М.Г., Влияние оксида графена и углеродных нанотрубок на реакцию атомов трития с Даларгином / Чернышева М.Г., Буняев В.А., Бадун Г.А. // Радиохимия. - 2020. - Т. 62. - № 2. - С. 169–174. EDN: NRXVPC (Импакт-фактор 0,739 (РИНЦ), 0.7 п.л./33%).

Chernysheva M.G., Effect of graphene oxide and carbon nanotubes on the reaction of tritium atoms with Dalargin / Chernysheva M.G., Bunyaev V.A., Badun G.A. // Radiochemistry. - 2020. - V. 62. - № 2. - P. 264–269. EDN: FZTOQZ (Импакт-фактор 0.9 (SJ), Q3, 0.7 п.л./33%)

3. Bunyaev V.A., Structural peculiarities of lysozyme-graphene oxide adsorption complexes / Bunyaev V.A., Shnitko A.V., Chernysheva M.G., Ksenofontov A.L., Badun G.A. // Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures. - 2022. - V. 30. - № 1. - P. 99–105. EDN: ZHEARE (Импакт-фактор 0.362 (SJ), Q3, 0.8 п.л./20%)

4. Буняев В.А., Хитозан и сывороточный альбумин как модификаторы углеродных нанотрубок / Буняев В.А., Чернышева М.Г., Бадун Г.А. // Журнал физической химии. - 2024. - Т. 98. - № 7. - С. 29–36. EDN: PWLSRA (Импакт-фактор 0,928 (РИНЦ), 1 п.л./33%)

Bunyaev V.A., Chitosan and serum albumin as carbon nanotube modifiers / Bunyaev V.A., Chernysheva M.G., Badun G.A. // Russian Journal of Physical Chemistry A. Focus on Chemistry. - 2024. - V. 98. - № 7. - P. 1388–1395. EDN: FUVIKJ (Импакт-фактор 0.204 (SJ), Q4, 1 п.л./33%)

5. Бадун Г.А., Получение высокомеченого оксида графена с помощью метода термической активации трития для использования в бета-вольтаическом элементе ядерной батареи / Бадун Г.А., Буняев В.А., Чернышева М.Г. // Радиохимия. - 2024. - Т. 66. - № 2. - С. 165–170. EDN: EOSDNZ (Импакт-фактор 0,739 (РИНЦ), 0.7 п.л./33%)

Badun G.A., Preparation of high-labeled graphene oxide by tritium thermal activation method for application in the betavoltaic cell of a nuclear battery / Badun G.A., Bunyaev V.A., Chernysheva M.G. // Radiochemistry. - 2024. - V. 66. - № 2. - P. 185–190. EDN: BYUDHK (Импакт-фактор 0.9 (SJ), Q3, 0.7 п.л./33%)

На автореферат поступило 4 дополнительных отзыва, все положительные.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертационная работа на соискание ученой степени кандидата химических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решены вопросы, имеющие значение для развития радиохимии, а именно, **впервые**: 1. Показано, что при восстановлении оксида графена аминокислотами ключевую роль играет взаимодействие α -аминогруппы с эпокси- и гидроксильными группами оксида графена. Предложено для восстановления оксида графена использовать β -меркаптоэтанол. Усовершенствована методика гидротермального восстановления оксида графена. Проведено восстановление оксида графена атомарным водородом и его изотопами. Показано, что скорость связывания атомарного трития практически не зависит от изменения химического состава оксида графена в процессе восстановления. 2. С помощью метода термической активации трития получен оксид графена с предельно высоким содержанием трития. 3. Показано, что результат взаимодействия атомарного трития с органическими веществами (на примере даларгина), нанесенными на углеродные нанотрубки и оксид графена, зависит от конформации молекулы в адсорбционном комплексе. 4. С помощью комплексного подхода, использующего меченные тритием соединения и обработку атомарным тритием (метод тритиевого зонда), определен состав и структурная организация адсорбционных комплексов белков альбумина и лизоцима на поверхности оксида графена и углеродных нанотрубок. 5. Показано, что лизоцим в составе адсорбционного комплекса с оксидом графена сохраняет ферментативную активность, однако она снижается из-за изменения стерической доступности и морфологии активного центра лизоцима. 6. Обнаружено, что порядок последовательной модификации углеродных нанотрубок хитозаном и альбумином не влияет на состав комплекса, но позволяет регулировать гидрофильность и агрегационную устойчивость композиционного материала.

Практическая и теоретическая значимость работы состоит в следующем: 1. Разработаны новые методы синтеза восстановленного оксида графена как в условиях гидротермального синтеза, так и с помощью химического восстановления при комнатной температуре. 2. Методом термической активации трития получены образцы высокомеченого оксида графена, перспективного материала как компонента бета-вольтаических атомных батарей, способ получения запатентован (патент RU 2813551 C1 «Способ получения высокомеченого тритием оксида графена»). 3. Определена роль конформационного расположения даларгина, лизоцима и альбумина на распределение радиоактивной метки в аминокислотных остатках. Оценено изменение ферментативной активности лизоцима в присутствии фазы исходного и восстановленного оксида графена. 4. Разработана методика получения высокомеченого альбумина, адсорбированного на оксиде графена, с удельной радиоактивностью, равной 1500 Ки/ммоль. 5. Разработаны методы адсорбционного модифицирования углеродных наноматериалов для обеспечения их биосовместимости и коллоидной устойчивости в средах, аналогичным биологическим.

Диссертация представляет собой самостоятельное исследование, обладающее внутренним единством. **Положения, выносимые на защиту**, содержат новые научные результаты:

1. При получении меченного тритием восстановленного оксида графена количество нелабильного трития определяется только условиями обработки атомарным тритием и не зависит от условий предварительно восстановления оксида графена.
2. Метод термической активации трития позволяет получать высокомеченый оксид графена с удельной активностью до 1,5 Ки/мг (55 ТБк/г).

3. При обработке атомами трития адсорбционных комплексов пептидов и белков, нанесенных на углеродные наноматериалы, на распределение трития по аминокислотным остаткам влияет как природа подложки, так и расположение молекул на ней.
4. Последовательное адсорбционное модифицирование поверхности углеродных нанотрубок хитозаном и альбумином позволяет регулировать гидрофильность и агрегационную устойчивость композиционного материала.

Личный вклад состоял в анализе научной литературы и подготовке обзора, участии в проведении экспериментов по химическому восстановлению оксида графена, изотопному обмену с газообразным тритием между даларгином, лизоцимом и альбумином, нанесенных на углеродные субстраты, получению высокоочищенного тритием оксида графена, а также в выполнении компьютерного моделирования взаимодействия альбумина с оксидом графена и анализа конформационного расположения белка на поверхности оксида графена. Личный вклад автора в совместные публикации основополагающий.

На заседании «26» ноября диссертационный совет принял решение присудить Буняеву Виталию Андреевичу ученую степень кандидата химических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 5 докторов наук по специальности 1.4.13 Радиохимия (химические науки), участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав, проголосовали: за - 17, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Заместитель председателя диссертационного
совета, доктор физико-математических наук

_____/Пресняков И.А./

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат химических наук

_____/Северин А.В.

«26» ноября 2025 г.