

Заключение диссертационного совета МГУ.14.06
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук
Решение диссертационного совета от «18» декабря 2024 г. №141

О присуждении Бахия Тамуне, гражданке РФ, ученой степени кандидата химических наук.

Диссертация «Углеродные материалы для извлечения радионуклидов и органических веществ из техногенных и природных растворов» по специальностям 1.4.13 Радиохимия (химические науки), 1.4.15 Химия твердого тела (химические науки) принята к защите диссертационным советом «б» ноября 2024 г., протокол № 134 .

Соискатель Бахия Тамуна 1994 года рождения, в 2022 году окончила аспирантуру кафедры радиохимии химического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова» по направлению 04.06.01 – «Химические науки», специальность 1.4.13 Радиохимия (химические науки).

Соискатель работает инженером лаборатории дозиметрии и радиоактивности окружающей среды на кафедре радиохимии химического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова».

Диссертация выполнена в лаборатории дозиметрии и радиоактивности окружающей среды на кафедре радиохимии химического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова».

Научные руководители:

Доктор химических наук, академик РАН, **Калмыков Степан Николаевич** – заведующий кафедрой радиохимии химического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова»;

Доктор химических наук, член-корреспондент РАН, **Хамизов Руслан Хажсетович** – директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

Милютин Виталий Витальевич, доктор химических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией хроматографии радиоактивных элементов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН);

Димиев Айрат Маратович, доктор химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории материалов для зеленой энергетики Химического института им. А.М. Бутлерова Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанского (Приволжского) федерального университета»;

Капитанова Олеся Олеговна, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биоаналитических методов и оптических сенсорных систем кафедры аналитической химии Химического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова» –

дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывался тем, что Милютин Виталий Витальевич является специалистом широкого профиля в области радиохимии, обладающим высокими компетенциями в области сорбционных процессов и проблем ядерного топливного цикла; Димиев Айрат Маратович является специалистом мирового уровня в области углеродных материалов; Капитанова Олеся Олеговна является специалистом в области углеродных материалов, ее работы посвящены синтезу и характеристике углеродных материалов для различных сфер применения. Публикации официальных оппонентов близки по своей направленности к теме рассматриваемой диссертационной работы.

Соискатель имеет 46 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 8 работ, из них 6 статей, опубликованных, в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальностям 1.4.13 Радиохимия (химические науки), 1.4.15 Химия твердого тела (химические науки) и 2 патента РФ, приравненные решением диссертационного совета к публикациям.

1. Boulanger N., Li G., Bakhia T., Maslakov K.I., Romanchuk A.Yu., Kalmykov S.N., Talyzin A.V. Super-oxidized “activated graphene” as 3D analogue of defect graphene oxide: oxidation degree vs U(VI) sorption // Journal of Hazardous Materials, 2023, V. 457, Article № 131817. (WoS, JIF 12,2, Q1, 0,9 п.л./40%).
2. Bakhia T., Khamizov R.Kh., Bavizhev Z.R., Bavizhev M.D., Konov M.A., Kozlov D.A., Tikhonova S.A., Maslakov K.I., Ashurov M.S., Melezhik A.V., Kurnosov D.A., Burakov A.E., Tkachev A.G. Composite graphene-containing porous materials from carbon for capacitive deionization of water // Molecules, 2020, V. 25, № 11, P. 2620. (WoS, JIF 4,2, Q1, 1,3 п.л./50%).
3. Bakhia T., Romanchuk A.Yu., Maslakov K.I., Averin A.A., Kalmykov S.N. Use of reduced graphene oxide to modify melamine and polyurethane for the removal of organic and oil wastes // Energies, 2022, V. 15, № 19, P. 7371. (WoS, JIF 3,0, Q1, 0,9 п.л./50%).
4. Bakhia T., Toropov A., Nevolin I., Maslakov K., Romanchuk A., Kalmykov S.N. Carbon materials for effective purification of aqueous solutions from tributyl phosphate // Physical Chemistry Chemical Physics, 2024, V. 40, № 26, P. 25977–25985 (WoS, JIF 2,9, Q2, 0,6 п.л./50%).
5. Tikhonov N.A., Tokmachev M.G., Bakhia T., Khamizov R.Kh. Modeling the process of capacitive deionization of solutions at supposing complex structure of the pores of the electrodes // Journal of Mathematical Chemistry, 2021, V. 59, № 4, P. 1054–1067 (WoS, JIF 1,7, Q2, 0,9 п.л./40%).
6. Бахия Т., Хамизов Р.Х., Бавижев З.Р. Композитные графен-содержащие пористые материалы для электросорбции и емкостной деионизации воды // Сорбционные и хроматографические процессы, 2020, Т. 20, № 3, с. 320–334 (Scopus, SJR 0,17, Q4, 0,9 п.л./50%).
7. Бахия Т., Романчук А.Ю., Калмыков С.Н., Веселов Н.А. Способ получения высокопористых сорбентов, модифицированных углеродными наноматериалами, для очистки водных растворов от нефти и нефтепродуктов. Патент РФ # 2803245 С1, дата публикации патента: 11 сентября 2023 года (40%).
8. Бахия Т., Хамизов Р.Х., Конов М.А., Бавижев М.Д. Способ получения электропроводящего гидрофильного аэрогеля на основе композита из графена и углеродных нанотрубок. Патент РФ # RU 2662484 С2, дата публикации патента: 26 июля 2018 года (40%).

На диссертацию и автореферат поступило 5 дополнительных отзывов, все положительные.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация 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 и химии твердого тела: **1.** Впервые показано, что именно восстановленные углеродные материалы с высокой удельной поверхностью могут быть использованы для извлечения ТБФ из разбавленных растворов азотной кислоты; **2.** Предложен новый метод окисления углеродных материалов, увеличивающий содержание преимущественно карбоксильных групп. Установлено, что увеличение количества карбоксильных групп в углеродном материале увеличивает сорбцию U(VI); **3.** Впервые предложен метод получения электропроводящего гидрофильного композитного аэрогеля из восстановленного оксида графена и углеродных нанотрубок без каких-либо добавок, позволяющий получить материал с низкой плотностью и необходимым сочетанием мезо- и макропористости, а также минимальным вкладом микропор.

Практическая значимость работы состоит в том, что автором было показано, что синтезированные углеродные материалы с высокими значениями удельной площади поверхности эффективны для очистки азотнокислых растворов от растворенного ТБФ, что делает их перспективными для очистки технологических растворов от экстрагента. Предложенный способ десорбции открывает возможность повторного использования разбавленных растворов и самих сорбирующих материалов. Получены рекордные значения коэффициента распределения ТБФ K_d 22500 ± 1400 мл/г из 0,5М HNO₃. Показано, что предложенный метод модификации углеродных материалов, приводящий к увеличению доли карбоксильных групп на поверхности, который может использоваться и для активации материала, полученного из дешевого природного сырья. Данный метод позволяет значительно снизить стоимость высокоэффективных сорбентов для катионных форм радионуклидов. Впервые получены значения по сорбционной емкости для U(VI), равные 7040 ± 520 мкмоль/г. Создана и экспериментально исследована электрохимическая ячейка, позволяющая изучать динамический процесс емкостной мембранной деионизации водных растворов. Данная ячейка может быть использована для очистки солоноватых растворов и трапных вод. Создана и апробирована математическая модель для описания процессов деионизации при применении углеродных аэрогелей с развитой структурой пор в качестве электродов, которая позволяет оценить перспективность материалов для процессов электросорбционной очистки. В настоящее время совместно с Тамбовским государственным технологическим университетом осуществляется внедрение разработанных высокопористых углеродных материалов и установок по емкостной мембранной деионизации в технологические процессы при решении вопросов очистки промышленных стоков и морской воды в компании АО «Газпромнефть».

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. **Положения, выносимые на защиту**, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку: **1.** Увеличение удельной площади поверхности улучшает результаты сорбции ТБФ на углеродных материалах. Синтезированные в работе углеродные материалы с удельной поверхностью ~ 2900 м²/г обеспечивают рекордные значения коэффициента распределения (22500 ± 1400 мл/г) для ТБФ из 0,5М HNO₃. В растворе 3М HNO₃

происходит окисление поверхности материала, что делает невозможным использование углеродных материалов для извлечения ТБФ при данных условиях; **2.** Сорбция U(VI) на углеродных материалах определяется степенью окисленности поверхности, а именно, наличием большого количества карбоксильных групп, и практически не зависит от доступной площади в исследуемых процессах. Окисление активированных углеродных материалов позволяет достичь рекордных значений по сорбционной емкости по U(VI) (7040 ± 520 мкмоль/г при pH 5,1); **3.** Сверхпористые (более 99 %) углеродные композитные аэрогели плотностью не более $0,02$ г/см³, характеризующиеся хрупкостью образующихся монолитов, не эффективны в динамических процессах емкостной мембранной деионизации. Для статического режима получена электросорбционная емкость для углеродного аэрогеля, равная 67 мг/г (по NaCl), что превышает все известные и ранее опубликованные значения; **4.** Основными ограничениями в динамике процесса деионизации являются процессы электродиффузионного переноса в объеме электродов. В процессе емкостной мембранной деионизации работает лишь небольшая часть мезопор, расположенных на поверхности электродов, находящихся ближе всего к потоку.

Личный вклад автора заключался в подготовке подробного литературного обзора; проведении синтеза различных углеродных материалов, разработке методик по гидрофилизации поверхности углеродных аэрогелей, проведении модификации высокопористых пенополиуретановых и меламиновых матриц углеродными материалами, сборке и тестировании ячейки для емкостной мембранной деионизации и проведении экспериментов с ее использованием, проведении экспериментов по сорбции и десорбции радионуклидов и ТБФ; обработке результатов физико-химических методов исследования; обобщении и систематизации полученных результатов, а также подготовке публикаций на основе результатов по проделанной работе.

На заседании «18» декабря 2024 г. диссертационный совет принял решение присудить Бахия Тамуне ученую степень кандидата наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 24 человек, из них 5 докторов наук по специальности 1.4.13 Радиохимия (химические науки) и 4 доктора наук по специальности 1.4.15 Химия твердого тела (химические науки), участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета и 4 дополнительно введенных на разовую защиту человек, проголосовали: за – 24, 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./

«18» декабря 2024 года