ОТЗЫВ
научного консультанта о диссертационной работе
Школина Андрея Вячеславовича
«Адсорбция газов на деформирующихся микропористых углеродных адсорбентах»,
представленной на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности
1.4.4 – Физическая химия.

Диссертационная работа Школина А.В., посвящена решению актуальных физико - химических проблем в новой, развивающейся области - энергонасыщенных адсорбционных систем. Такого рода системы предназначены для решения задач низкоуглеродной энергетики, включая технологию адсорбированного природного газа для систем распределенной энергетики, технологии аккумулирования диоксида углерода для решения экологических задач по его хранению и утилизации, систем улавливания инертных газов для решения задач атомной отрасли и медицины. Предложенное в работе развитие фундаментальных основ адсорбции газов при высоких давлениях на высокоактивных микропористых адсорбентах, открывает дополнительные возможности для масштабного развития новых технологий в области газовой энергетики.

Научная новизна результатов диссертационного исследования заключается в следующем:

– Впервые показано, что термическое поведение микропористых углеродных адсорбентов в области температур 230–290 К характеризуется структурной перестройкой, проявляющейся в изменении знака коэффициента термического расширения.

– Впервые получен комплекс параметров адсорбционно-стимулированной деформации серии микропористых углеродных адсорбентов при адсорбции газов в широких интервалах температур от 213 до 393 К и давлений до 10 МПа. Впервые показана универсальность деформационных эффектов для микропористых углеродных адсорбентов, обнаружены и объяснены эффекты стресс-деформации, а также отсутствия деформации адсорбента в области малых и средних заполнений.

– Количественно доказано, что при высоких давлениях суммарный эффект деформации адсорбента и неидеальности газовой фазы может вносить поправку в определение теплоты адсорбции при высоких давлениях до 80 %, что делает их учет обязательным для корректного моделирования и энергетики процессов.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в разработке моделей описания адсорбции и адсорбционно-стимулированной деформации с использованием лишь стандартной изотермы низкотемпературной адсорбции азота, что открывает возможность для быстрого подбора оптимального адсорбента под решаемую задачу, или постановки задачи на производство углеродного адсорбента по параметрам процесса. Разработанные автором закономерности создают научный фундамент для дальнейших исследований в области адсорбции при высоких давлениях и деформации микропористых материалов, стимулированной температурой и адсорбцией.

Личный вклад Школина Андрея Вячеславовича в диссертационной работе является решающим. Определение целей и постановка задач научного исследования, разработка методик измерения, и основные научные результаты, выносимые на защиту, получены соискателем лично. В опубликованных в соавторстве работах соискателю принадлежит значительный вклад, как правило, связанный с постановкой и проведением экспериментов, интерпретацией результатов.

Основные положения диссертации опубликованы в более чем 50 статьях в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК, из них более чем в 15 изданиях, индексируемых в базах Scopus, первого и второго квартиля. Результаты работы доложены и обсуждены на множестве международных и всероссийских конференциях, включая ведущую мировую конференцию по адсорбции «The 13th International Conference on Fundamentals of Adsorption (13FOA) (г. Кернс, Австралия, 2019)», а также ежегодное

обсуждение на ведущем Всероссийском симпозиуме с международным участием «Актуальные проблемы теории адсорбции, пористости и адсорбционной селективности» (Москва, Россия, 2014-2026).

Проведенное исследование имеет важное значение для дальнейшего развития химической науки в области поверхностных явлений. Работа соответствует направлению из Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: Н2 – переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников энергии, способов ее передачи и хранения.

Диссертация является научной квалификационной работой, в которой решена крупная научная проблема, имеющая значение для дальнейшего развития химической науки, заключающаяся в развитии фундаментальных основ адсорбции газов в микропористых углеродных деформирующихся материалах, при высоких давлениях.

Диссертационная работа Школина А. В. на тему «Адсорбция газов на деформирующихся микропористых углеродных адсорбентах» является научно-квалификационной работой, в которой решена крупная научная проблема заключающаяся в установлении фундаментальных закономерностей адсорбции и адсорбционно-стимулированной деформации и термодинамики адсорбции газов на микропористых углеродных адсорбентов в области высоких давлений, имеющая важное значение для дальнейшего развития физической химии пористых материалов и технологии хранения и транспортировки газов в адсорбированном виде. Открытые в работе закономерности, позволили разработать прогнозные модели адсорбции газов на микропористых углеродных адсорбентах и их адсорбционно-стимулированной деформации в области до и сверхкритических температур.

Решение указанной проблемы позволит ускорить развитие технологии хранения и распределения газового топлива в адсорбированном виде, имеющей важное государственное значение. Важно отметить, что отдельные элементы работы, связанные с прогнозированием деформации пористых материалов были использованы при разработке систем аккумулирования, транспортировки и хранения природного газа метана для ПАО «Газпром», что отражено в изобретении «Способ наземного адсорбционного хранения природного газа, метана и комплекс для его осуществления (варианты)» (патенты RU2781395, JP7649323, CA3223054, US20240218979, CN117083441, KR20230173177 и EP418260). Содержание диссертационной работы свидетельствует о высоком уровне научной квалификации соискателя.

Диссертационная работа полностью отвечает всем требованиям и соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, а её автор заслуживает присуждения ему ученой степени **доктора химических наук** по специальности 1.4.4 – Физическая химия.

Научный консультант,
доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник,
Заведующий Лабораторией сорбционных процессов ИФХЭ РАН А. А. Фомкин

«05» октября 2026 г.

Рабочий адрес: 119071, Москва, Ленинский пр-т, 31, к.4.
Тел. +7(495)952-56-81
e-mail: fomkinaa@mail.ru

Подпись Фомкина А. А. «УДОСТОВЕРЯЮ»
Секретарь ученого совета ИФХЭ РАН,
кандидат химических наук, Варшавская И. Г.