

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. директора по научной работе и

Координации перспективных

разработок ИБРАЭ РАН

доктор технических наук



И.И. Линге

2021 г.

## Заключение

Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук  
(ИБРАЭ РАН)

Диссертация «Особенности загрязнения и реабилитации сильно контрастных геологических сред» выполнена в Лаборатории теоретической физики, в которой соискатель Куцепалов Владимир Александрович работал в период подготовки диссертации.

Соискатель, В.А.Куцепалов, окончил Московский Физико-Технический Институт (государственный университет) (далее МФТИ) - бакалавриат и магистратуру по направлению 03.04.01 «Прикладная математика и физика». На протяжении всего обучения В.А.Куцепалов учился на базовой кафедре при Институте проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (далее ИБРАЭ РАН). В 2016 году после защиты выпускной квалификационной работы магистра В.А.Куцепалов был рекомендован для принятия в аспирантуру МФТИ. В качестве базовой организации выступил ИБРАЭ РАН. Все кандидатские экзамены были сданы в процессе обучения в аспирантуре МФТИ.

Научный руководитель – Матвеев Леонид Владимирович, доктор физико-математических наук, директор ИБРАЭ РАН.

По итогам обсуждения на научном семинаре Лаборатории теоретической физики ИБРАЭ РАН принято следующее заключение:

Диссертация В.А.Куцепалова «Особенности загрязнения и реабилитации сильно контрастных геологических сред» выполнена на высоком научном уровне, является научно-квалификационной работой, в которой:

- построена модель и рассчитаны режимы переноса загрязнений в статистически однородных двупористых средах при наличии диффузионного барьера со случайными неоднородностями;
- разработана модель, описывающая динамику вымывания загрязнений из геологической среды, обладающей двупористой структурой;
- исследовано влияние наличия во флюиде коллоидов, способных адсорбировать примесь, на эффективность вымывания загрязнений из геологической среды;

- выполнены анализ ограничений и оптимизация свойств проницаемого сорбирующего барьера для очистки грунтовых вод, в том числе с учетом особенностей его микроструктуры.

### **Актуальность работы**

Загрязнение окружающей среды является серьезной проблемой, приобретающей с каждым годом все большую актуальность. Вопросы экологии возникают практически во всех сферах человеческой деятельности, но особую роль они играют при решении проблемы безопасного развития атомной энергетики. Последнее связано с тем, что в процессе функционирования данной отрасли накоплено большое количество радиоактивных отходов, которые должны быть надежно изолированы от биосферы на временах, существенно превышающих периоды полураспада входящих в них радионуклидов. Здесь возникают две задачи: первая – это надо предотвратить загрязнение окружающей среды, и вторая – необходимо провести реабилитацию уже имеющихся загрязненных территорий.

Хотя математическому моделированию процессов переноса посвящено очень большое число работ, тем не менее, остаётся масса нерешенных задач как при описании распространения загрязнений, так и при исследовании возможности повышения эффективности реабилитационных мероприятий.

Эти задачи и определяют актуальность исследования.

### **Научная новизна работы**

Автором впервые:

- Рассчитаны режимы переноса примеси в статистически-однородной двупористой среде, обусловленные наличием случайно-неоднородного диффузионного барьера.
- Описана кинетика процесса очистки загрязненной геологической среды путем вымывания загрязнений в случае, когда среда обладает двупористой структурой.
- Показано, что добавление коллоидных частиц, способных адсорбировать примесь, в прокачиваемый через загрязненную среду флюид приводит к существенному увеличению скорости очистки загрязненной области.
- Показано, что наличие связи между проницаемостью и удельной сорбционной поверхностью материала проницаемого сорбирующего барьера, приводит к ограничениям эффективности действия барьера. Данные ограничения могут быть ослаблены при использовании материала с двупористой структурой.

### **Практическая значимость работы**

Полученные результаты касаются задач имеющих практическое значение и могут быть использованы при расчете инженерных барьеров при создании подземных захоронений радиоактивных отходов, а также оптимизации мероприятий по реабилитации загрязненных территорий.

### **Личный вклад автора заключается в следующем:**

- Выявлены режимы переноса примеси в статистически однородных двупористых средах для случая, когда источник примеси отделен от основной среды случайно неоднородным диффузионным барьером.

- Построена модель выщелачивания примеси в статистически однородной двупористой среде.
- Установлено ускорение процесса выщелачивания примеси введением во флюид коллоидов, способных адсорбировать примесь.
- Проанализировано появление на малых временах предвестников загрязнения при распространении в статистически однородной двупористой среде, обусловленных существованием проколов в диффузионном барьере.
- Определены ограничения для параметров сорбирующего барьера. Выполнена оценка эффективности сорбирующего барьера на больших временах.

### **Достоверность и апробация результатов**

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректным применением общепризнанных методов математической физики (в том числе преобразования Лапласа и Фурье) для решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также соответствием полученных решений качественным оценкам.

По теме диссертации опубликовано 3 печатные работы в ведущих реферируемых иностранных и отечественных журналах из списка, рекомендованного ВАК Минобрнауки России:

1. V. A. Kutsepalov, L.V. Matveev, Non-classical regimes of colloid-facilitated impurity transport in statistically homogeneous double porosity media. *Chaos, Solitons & Fractals* 81, p. 480-486 (2015).
2. В. А. Куцепалов, Л. В. Матвеев, Коллоидно-усиленное выщелачивание примеси в статистически однородных двупористых средах, *ЖЭТФ* 153(6), стр. 1041-1050 (2018).
3. P. S. Kondratenko, V. A. Kutsepalov, L. V. Matveev, Effects of randomly inhomogeneous diffusion barrier on impurity transport in a double-porous medium. *The European Physical Journal B*, 92: 210 (2019)

Основные результаты работы были представлены на ежегодных научных конференциях для молодых ученых ИБРАЭ РАН (Москва, 2014, 2016, 2018), 62-ой Международной конференции МФТИ (Долгопрудный, 2019), International Conference on Statistical Physics 7-11 July 2014, Rhodes-Greece, Семинарах Лаборатории теоретической физики ИБРАЭ РАН.

Диссертация В.А. Куцепалова «Особенности загрязнения и реабилитации сильно контрастных геологических сред» является завершённой научно-квалификационной работой, соответствует специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника». Диссертация рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Заключение принято на заседании Лаборатории теоретической физики ИБРАЭ РАН.

Присутствовало на заседании 14 человек. Результаты голосования: «за» - 14 человек, «против» - 0 человек, «воздержались» - 0 человек, протокол № 3 от «3» марта 2021г.

Заведующий Лабораторией  
теоретической физики  
ИБРАЭ РАН, д.ф.-м.н., профессор



П.С. Кондратенко