

## Отзыв

официального оппонента, кандидата физико-математических наук,  
Тренина Ивана Владимировича, на диссертационную работу  
Куцепалова Владимира Александровича «Особенности загрязнения и реабилитации  
сильно контрастных геологических сред»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника

Диссертация В.А. Куцепалова посвящена теоретическому моделированию процессов переноса примесей в сильно неоднородных, резко контрастных средах в применении к важным и актуальным задачам загрязнения и реабилитации загрязненных территорий. Принципиальным моментом является то, что на характеристики процессов существенное влияние оказывает микроструктура среды, в результате чего перенос не описывается классическими закономерностями, базирующимися на применении законов Фика.

В первой главе автор рассматривает влияние слабопроницаемого барьера, окружающего источник примеси, на транспорт примеси во внешней (за пределами барьера) гетерогенной резко контрастной среде. Рассматривается случай, когда можно считать, что внешняя среда является статистически однородной и обладает двупористой структурой. Выход примеси за пределы барьера обусловлен хотя и низкой, но конечной диффузией через барьер, а также очень редкими случайными «проколами» с высокой проницаемостью. Получены новые результаты, позволяющие описать режимы переноса в окружающей среде, появление предвестников концентрации и, как результат, оценить изолирующее действие барьера. Интересно отметить, что режимы переноса в задаче с барьером сводятся к режимам переноса в безбарьерном прототипе с помощью введения эффективного времени.

В следующих двух главах рассмотрен процесс выщелачивания примеси из неоднородной среды, обладающей двупористой структурой, фильтрующимся через нее флюидом. Новым результатом является описание эволюции очищенной области, в частности, формирование двух подобластей (с глубокой очисткой и переходной) и динамика их поведения. Наибольший интерес представляет предсказываемый в главе 3 эффект ускорения процесса очистки в результате добавления во флюид коллоидных частиц, способных адсорбировать примесь. Полученные формулы позволяют оценить увеличение скорости формирования очищенной области и сужения переходной области исходя из характеристик среды и свойств коллоидных частиц.

В четвертой главе анализируется эффективность очистки грунтовых вод при установке на их пути проницаемого барьера, способного адсорбировать примесь. Диссертантом развита модель, в рамках которой показано, что требования к проницаемости барьера накладывают существенные ограничения на его сорбционную емкость и, следовательно, на его минимальную толщину. Вместе с тем, эти ограничения могут быть смягчены, если в качестве материала барьера использовать вещество с двупористой структурой.

Ценность приведенных выше результатов работы В.А. Куцепалова обусловлена большим научным и практическим значением рассматриваемых задач. Полученные решения могут служить основой для разработки других более сложных моделей и

численных кодов, более детально описывающих транспорт в неоднородных пористых средах. Подобные исследования активно ведутся сегодня в различных областях физики, химии, биологии.

Результаты автора представляются актуальными и могут быть использованы, в первую очередь, для решения задач радиоэкологии, обоснования безопасности захоронений РАО, реабилитации загрязненных территорий, а также для описания транспорта удобрений в почвоведении, для разработки нанотехнологии дозируемой локальной доставки лекарств в организме пациента при использовании пористых сред.

#### Замечания по работе

1. При описании влияния сорбирующих коллоидных частиц (глава 3) принимается модель, в которой кинетика коллоидных частиц описывается их переносом со средней скоростью (равной средней скорости фильтрации раствора) и дисперсией. При этом совсем не рассматриваются вопросы, связанные с взаимодействием самих коллоидов с пористой средой как, например, прилипание и отлипание от стенок каналов, влияние вариации апертуры каналов. Как и насколько сильно могут влиять данные процессы на кинетику переноса примеси?
2. При построении модели очистки грунтовых вод проницаемыми химически-активными барьерами в качестве механизмов переноса примеси рассматривается исключительно адвекция со средней скоростью. В действительности роль диффузии, как правило, оказывает существенный вклад в распределение концентрации примеси, и может повлиять на выводы главы 4.
3. В работе недостаточно внимания уделено оценкам адекватности предлагаемых моделей и сравнению результатов с экспериментальными или данными численного моделирования. Такое сравнение позволило бы проанализировать как качественные выводы моделей, так и провести оценку влияния сделанных приближений на получаемые результаты.
4. С практической точки зрения было бы полезно сделать оценки времени полной очистки среды от примесей для нескольких наиболее актуальных видов загрязнений. Эти оценки позволили бы также оценить степень эффективности и возможность практической реализации предлагаемых автором решений, в частности, способа очистки с помощью барьера, наполненного веществом с двупористой структурой.

Эти замечания, однако, не снижают общей положительной оценки представленной диссертации. В целом, диссертация, несомненно, вносит большой вклад в актуальное научное направление – исследование процессов переноса в неоднородных резко контрастных средах.

Результаты диссертации достаточно полно изложены в 3 статьях, опубликованных в ведущих рецензируемых физических журналах. Автореферат диссертации правильно и в полной мере отражает содержание диссертации.

Диссертация Куцепалова В.А. соответствует критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, паспорту специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника» и отрасли

науки «физико-математические науки». Сам Куцупалов В.А. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Официальный оппонент,  
доцент отделения нанотехнологий в электронике,  
спинтронике и фотонике офиса  
образовательных программ (414) /  
Институт нанотехнологий в электронике,  
спинтронике и фотонике НИЯУ МИФИ,  
кандидат физико-математических наук

  
Тронин Иван Владимирович

Сведения:

**Полное наименование организации:**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Юридический адрес:** 115409, Россия, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31

**Телефон:** +7 (495) 788-5699 доб. 9850

**Электронный адрес:** IVTronin@mephi.ru

Подпись Тронина И.В. заверяю

09.06.2021 г.



Подпись удостоверяю  
Заместитель начальника отдела  
документационного обеспечения  
НИЯУ МИФИ

