

МИНИСТЕРСТВО
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«Национальный
исследовательский ядерный
университет «МИФИ»
(НИЯУ МИФИ)»**

Каширское шоссе, д.31, г. Москва, 115409
Тел. (499) 324-77-77, факс (499) 324-21-11
<http://www.mephi.ru>

23.08.22 № 010/003

На № 11407/01-0898 от 16.06.22

Научному руководителю Института
проблем безопасного развития
атомной энергетики Российской
академии наук (ИБРАЭ РАН)

академику
Большову Л.А.

Б. Тульская ул., 52
г. Москва, 115191



«УТВЕРЖДАЮ»
Директор НИЯУ МИФИ

Н.И. Каргин

« 23 » 08 20 22 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Матвеева Александра Леонидовича
«Перенос примеси в средах с крупномасштабными неоднородностями и
сорбирующими включениями»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.04.14 - «Теплофизика и
теоретическая теплотехника»

Актуальность темы

Исследования процессов переноса примеси в сильно неоднородных средах, несмотря на свою длинную историю, продолжают интенсивно развиваться и в настоящее время. Это обусловлено тем, что в таких средах, часто встречающихся на практике, возникают закономерности, отличающиеся от классических. К таким закономерностям относятся, прежде всего, субдиффузионный и супердиффузионный режимы переноса. Особый интерес к сильно неоднородным средам в последние десятилетия проявляется ввиду актуальной задачи поиска мест захоронения радиоактивных отходов. Для оценки надежности захоронений необходимо знание закономерностей переноса радионуклидов в геологических средах. Во многих случаях геологические

среды содержат в себе сильно сорбирующие включения. Обычно они бывают редкими, но могут в существенной мере влиять на формирования режимов переноса. Кроме того, процессы в геологических средах зачастую развиваются на протяжении десятков и сотен лет, что затрудняет эмпирические и даже численные исследования таких процессов. В связи с этим, построение аналитической теории переноса примеси в средах, обладающих крупномасштабными неоднородностями и сорбирующими включениями, является актуальной задачей современной науки.

Научная новизна

Новизной обладают следующие результаты, полученные автором:

1. Построена асимптотическая теория переноса примеси, обусловленного классической диффузией, в неоднородных изотропных и анизотропных средах.
2. Получена асимптотическая формула для концентрации примеси в задаче об адвекции-диффузии в неоднородной среде.
3. Исследованы закономерности переноса примеси в модели регулярно неоднородной резко контрастной среды (модели Дыхне) с параметрами, зависящими от координат.
4. Получены закономерности переноса примеси в трещиновато-пористой среде с редкими сильно сорбирующими включениями.

Практическая значимость результатов

1. Полученные в работе аналитические результаты являются универсальными и могут быть использованы для решения широкого круга задач о переносе примеси в средах с крупномасштабными неоднородностями, в том числе в геологических средах с крупными неоднородностями и сорбирующими включениями.
2. Полученные результаты дают возможность проведения быстрых качественных оценок характеристик переноса радионуклидов и других загрязнений в геологических средах.
3. Полученные результаты могут использоваться как для усовершенствования существующих, так и для создания новых численных кодов, предназначенных для моделирования процессов переноса примеси в геологических средах.

Достоверность

Достоверность результатов, полученных автором, основывается на корректности постановки задач, применении современных методов теоретической и математической физики и подтверждается совпадениями с результатами численных расчетов.

Основные результаты диссертационной работы изложены в 8 печатных работах, 5 из которых — в изданиях из списка, рекомендованного ВАК Минобрнауки России, 3 опубликованы в сборников докладов конференций.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Диссертационная работа Матвеева А.Л. состоит из введения, четырех глав, заключения, четырех приложений и списка использованной литературы, включающего 91 источник.

Во **введении** обоснована актуальность и практическая значимость работы, изложены основные цели и задачи исследования. Приведено краткое описание ключевых положений современной теории процессов переноса примеси в различных средах.

В **главе 1** исследуется классический перенос примеси в изотропной среде с крупномасштабными неоднородностями. Кратко описан асимптотический подход применяющийся для решения задач первых трех глав диссертации, сформулирована постановка задачи построения асимптотической теории изотропной классической диффузии в среде с крупномасштабными неоднородностями, найдено выражение для квазиэйконала; представлена численная реализация асимптотической теории классической диффузии в пространстве размерностями 1 и 2, проведено сравнение результатов асимптотической теории с результатами прямого численного решения уравнения диффузии в неоднородной среде, решена задача классической адвекции-диффузии в неоднородной среде.

Вторая глава диссертационной работы посвящена исследованию переноса примеси, обусловленному анизотропной диффузией в неоднородной среде. Для решения задачи используется формализм криволинейной геометрии, заимствованный из общей теории относительности. Сформулирована постановка задачи, базирующейся на уравнении анизотропной диффузии, получено уравнение для траектории концентрационного сигнала, найдено

выражение для концентрации в пространственно-временном представлении.

В **главе 3** описано построение асимптотической теории модели Дыхне с переменными в пространстве коэффициентами изотропной диффузии. Представлены качественные результаты решения исходной модели Дыхне с постоянными коэффициентами диффузии, сформулирована постановка задачи, найдено выражение для квазиэйконала, получены асимптотические выражения для концентрации в пространственно-временном представлении.

В **главе 4** исследован перенос примеси в трещиновато-пористой среде в присутствии редких сильно сорбирующих включений. Проанализированы режимы переноса и установлено асимптотическое поведение концентрации на далеких расстояниях от источника примеси в зависимости от структурных характеристик среды.

В **заключении** сформулированы основные выводы, сделанные на основе анализа результатов работы.

Приложения посвящены математическим деталям построения теории переноса.

Замечания

1. В главе 1, на графиках 1.2, 1.4, приводится сравнение результатов, полученных в рамках асимптотической модели автора с результатами прямого численного моделирования. Выбранное автором оформление графиков не представляется удачным. Масштабы по осям не позволяют оценить степень отклонения решений друг от друга на больших расстояниях. Логичнее было бы изобразить приведенную разницу решений.
2. В работе (в особенности в главах 2-4) недостаточно внимания уделено сравнению выводов асимптотической теории с экспериментальными или расчетными данными. В частности, в главе 4 приведен подробный анализ режимов переноса, следующий из сформулированной модели, однако отсутствует верификация или валидация модели.
3. В главах 3-4 автор говорит о субдиффузионном поведении, следующем из выводов модели. Вместе с тем, при субдиффузионном, также как и при супердиффузионном приближении, в профиле концентрации можно ожидать скорее устойчивое распределение (stable distribution), а не распределением гауссовского типа с экспоненциальными хвостами. Этот момент в работе не обсуждается.

4. Анализ режимов переноса, проведенный в главе 4, построен на иерархии нескольких характерных времен. Однако оценки характерных масштабов времен приведены лишь в конце раздела 4.2 и только для одного времени. Вместе с тем, такие оценки для реальных геологических сред позволили бы сделать выводы о возможности реализации того или иного режима на практике и понять, каковы характерные времена процессов в реальных средах.

Вместе с тем, отмеченные замечания не снижают научную и практическую ценность диссертационной работы. Поставленные в диссертационной работе задачи успешно решены, а сама диссертационная работа представляет собой завершенное научное исследование.

Заключение

1. Диссертационная работа является актуальным законченным научным исследованием и представляет научную и практическую ценность.
2. Тематика работы соответствует указанной специальности.
3. Содержание автореферата соответствует тексту диссертации.
4. Диссертация отвечает требованиям к кандидатским диссертациям Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор, Матвеев А.Л. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 - «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Отзыв на диссертационную работу Матвеева А.Л. подготовлен кандидатом физико-математических наук, доцентом отделения нанотехнологий в электронике, спинтронике и фотонике НИЯУ МИФИ, и.о. заведующего кафедрой «Молекулярная физика» НИЯУ МИФИ, Трониным Иваном Владимировичем на основании заключения, сделанного по итогам обсуждения диссертационных материалов на заседании семинара кафедры «Молекулярная физика» НИЯУ МИФИ, протокол заседания №1/22-10 от 20.07.2022 г.

И.о. зав. каф. «Молекулярная физика»,
к.ф.-м.н.

 Тронин И.В.