

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук, профессора  
Крайнова Владимира Павловича на диссертацию  
Матвеева Александра Леонидовича «Перенос примеси в средах с крупномасштабными  
неоднородностями и сорбирующими включениями»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по  
специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

В последние десятилетия процессы переноса примеси в неоднородных средах приобретают все возрастающий интерес. Они существенны в физике полупроводников, физике плазмы, астро- и биофизике, медицине, экономике и др. Особое место в этом ряду занимает перенос примеси в геологических средах, в связи проблемой захоронения радиоактивных отходов. Несмотря на столь широкую распространенность и сравнительно давнюю историю исследований, в этом разделе физики остались еще множество нерешенных вопросов. В частности, отсутствовали аналитические результаты для концентрации примеси в довольно типичном случае, когда параметры модели переноса, в силу крупномасштабных неоднородностей среды, зависят от координат. Поэтому тема диссертации А.Л. Матвеева, посвященной исследованию процессов переноса примеси в средах с крупномасштабными неоднородностями и при наличии сильно сорбирующих включений, является актуальной как с научной, так и практической точки зрения.

В Главе 1 диссертации была впервые построена асимптотическая теория переноса примеси на основе изотропной классической диффузии в среде с крупномасштабными неоднородностями. Выражение для концентрации сведено к одномерным интегралам вдоль характеристической линии, называемой траекторией концентрационного сигнала. Сама траектория определяется из вариационного принципа, аналога принципа Ферма в геометрической оптике, который приводит к обыкновенному дифференциальному уравнению первого порядка для касательного вектора к траектории. Асимптотическая теория применима на расстояниях от источника примеси, значительно превышающих размер основной области ее распределения. Здесь же при некоторых ограничениях на параметры задачи получена асимптотическая формула для концентрации примеси для случая, когда наряду с диффузией, в качестве механизма переноса, действует адвекция.

В Главе 2 разработанная в предыдущей главе асимптотическая теория классической диффузии была впервые обобщена на случай анизотропной классической диффузии в среде с крупномасштабными неоднородностями. При выводе был использован формализм криволинейной дифференциальной геометрии, заимствованный из общей теории относительности. Как и в случае изотропной диффузии, выражение для концентрации

сведено к однократным (линейным) интегралам вдоль траектории концентрационного сигнала, обыкновенное дифференциальное уравнение для которой оказалось уравнением геодезической в криволинейной геометрии.

В Главе 3 впервые построена асимптотическая теория переноса в регулярно неоднородной среде (модели Дыхне) с параметрами, зависящими от координат. Отметим, что эта модель является простейшей из моделей, демонстрирующей неклассически перенос примеси – супердиффузию. Как и в предыдущих главах выражение для концентрации сведено к линейным интегралам вдоль траекторий концентрационного сигнала. Эти траектории на малых и промежуточных временах являются плоскими, а на поздних временах – объемными.

В Главе 4 диссертации была впервые разработана теория переноса примеси в двупористой среде в присутствии сильно сорбирующих включений. Установлено, что указанные включения приводят к реализации двух новых дополнительных режимов переноса и двух дополнительных ступеней в многоступенчатой структуре асимптотики концентрации на поздних временах.

Подводя итог краткому обзору содержания диссертации, отмечу, что достоинство результатов, изложенных в первых трех главах, состоит прежде всего в аналитических формулах для концентрации в средах с крупномасштабными неоднородностями. Благодаря этому, в сравнении с прямыми численными решениями уравнения диффузии, вычисления, основанные на асимптотической теории, требуют, как показано в Главе 1, на два порядка меньше расчетного времени. Глава 4 интересна физическим анализом возникновения новой структуры распределения концентрации примеси, обусловленной присутствием сорбирующих включений.

В целом результаты диссертации, носят с одной стороны фундаментальный характер, а с другой – имеют важное прикладное значение.

Практическая значимость полученных в работе аналитических результатов состоит в том, что они дают возможность проведения быстрых качественных оценок для характеристик переноса радионуклидов в геологических средах и могут быть применены как для усовершенствования существующих, так и для создания новых численных кодов, предназначенных для моделирования процессов переноса примеси в геологических средах.

Достоверность результатов диссертации подтверждается использованием современного уровня теоретического анализа, согласием с прямыми численными расчетами и публикациями в престижных отечественных и зарубежных научных изданиях.

**Замечания по работе**

1. Из рис. 1.2 диссертации видно, что в одномерном случае асимптотический аналитический подход и точное численное решение согласуются друг с другом только на небольшом участке, где концентрация либо мала, либо практически равна нулю. Почему в двумерном случае применимость асимптотического подхода распространяется на гораздо более широкую область (рис. 1.4)?
2. В главе 3 стоило бы подчеркнуть, в чем заключается основное приближение модели Дыхне.

### **Заключение**

В целом, сделанные замечания не снижают моей общей высокой оценки работы. Диссертация А.Л. Матвеева является законченной научной работой, которая вносит значительный вклад в актуальное научное направление – перенос примеси в неоднородных средах.

Результаты диссертации достаточно полно изложены в 5 статьях, опубликованных в ведущих рецензируемых физических журналах. Автореферат правильно и в полной мере отражает содержание диссертации.

Диссертация А.Л. Матвеева соответствует критериям, 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». Считаю, что автор работы Матвеев Александр Леонидович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Официальный оппонент:

Профессор кафедры теоретической физики МФТИ

д.ф.-м.н., профессор

*Крайнов*

В.П. Крайнов

Подпись В.П. Крайнова заверяю

Ученый секретарь МФТИ

к.ф.-м.н.



Е.Г. Евсеев

Адрес, телефон, E-mail организации

**Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)**

Адрес: 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д.9.

Телефон: +7 (495) 408-45-54; Факс: +7 (495) 408-42-54; E-mail: [info@mipt.ru](mailto:info@mipt.ru)