

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по НИР ФГБОУ ВО

«Саратовский национальный
исследовательский государственный
университет имени Н.Г. Чернышевского»

д.ф.м.н., профессор

А.А. Короновский

2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации — Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

на диссертацию **Павла Васильевича Краузина**

«Процессы переноса в природных пористых средах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 — Механика жидкости, газа и плазмы

Кандидатская диссертация Павла Васильевича Краузина посвящена исследованию транспортных процессов в природных пористых средах. А именно, для диффузионного транспорта слабо растворимых веществ в жидкости, заполняющей пористую среду, изучаются особенности, связанные с насыщенностью раствора и распространением в системе температурной волны. В работе также исследуется вопрос, актуальный для определения транспортных свойств природных пористых сред, — о связи свойств пористой микроструктуры с электропроводностью массива.

Актуальность исследований. Научное и практическое значение. Процессы формирования слоев (горизонтов) пузырьков атмосферных газов в затопленных почвах, метана в болотах или богатых органикой донных отложениях, слоев известняка в водоносных пластах, газовых гидратов в морских донных отложениях, и т.п. являются, с точки зрения физики, процессами формирования слоев нерастворенной фазы некоторого слабо растворимого вещества. Понимание и описание таких процессов требует знания особенностей диффузионного транспорта одно- и многокомпонентных слабо растворимых веществ в пористых средах. В диссертационной работе П.В. Краузина показывается, что протекание таких процессов в присутствии нерастворенной фазы имеет на макроскопическом уровне особенности, которые не встречаются при иных условиях. Последнее само по себе представляет отдельный интерес с точки зрения фундаментальной физики. Эффекты могут иметь применение в технологических системах: например, в диссертации показывается, что модуляция температуры поверхности предоставляет потенциальную возможность для управления распределением нерастворенной фазы гостевого вещества в пористом массиве без нарушения его целостности. При исследовании транспортных процессов в природных системах важной задачей является установление связи между свойствами пористого скелета и таким легкоизмеримым параметром среды, как удельная электропроводность.

Научная новизна диссертационной работы не вызывает сомнений. Основные результаты являются новыми и получены впервые. В частности:

- 1) найдены новые приближенные аналитические выражения, определяющие распределение концентрации слаборастворимых веществ в пористом полупространстве при колебании температуры поверхности, которая приводит к возникновению бегущей волны растворимости в системе;
- 2) справедливость полученных решений подтверждена с помощью прямого численного моделирования;
- 2) представлено обобщение полученных результатов для случая двухкомпонентных газов;
- 3) получен закон подобия (скейлинга) электропроводности гранулированной среды при поверхностном механизме проводимости, представлено подробное теоретическое исследование влияния различных факторов на электропроводность.

Обоснованность и достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается: сопоставлением результатов численных расчетов и аналитических приближенных решений; точностью применяемых методов; анализом границ применимости принимаемых допущений относительно математической модели процессов; использованием хорошо зарекомендовавших себя теоретических моделей, проверенных в экспериментах.

Рекомендации по использованию результатов диссертации. Результаты диссертации можно рекомендовать к применению в РГУ нефти и газа им И.М. Губкина, Институте механики МГУ, Институте проблем механики РАН, Институте механики сплошных сред УрО РАН, Институте теплофизики СО РАН, Институте гидродинамики СО РАН, Институте теоретической и прикладной механики СО РАН, в Пермском, Саратовском и Московском государственных университетах, где ведутся исследования процессов переноса, колебательных и волновых явлений в пористых средах. Результаты также могут быть внедрены в учебный процесс в вузах, ведущих подготовку специалистов в данной области, например, в Пермском и Томском государственных университетах и РГУ нефти и газа им И.М. Губкина.

Структура и основное содержание работы. Диссертация состоит из введения, трех оригинальных глав и заключения. Материал в целом достаточно четко представлен и логично структурирован.

Во **Введении** даются общая характеристика работы и обзор литературы. Несмотря на краткость, обзорная часть написана очень квалифицированно, дает хорошее представление о состоянии исследований и, по существу, является расширенным обоснованием актуальности работы.

Первая глава диссертации посвящена изучению влияния температурных колебаний поверхности пористого массива на диффузионное перераспределение слаборастворимых веществ, насыщающих раствор, который в свою очередь заполняет массив. Получены приближенные аналитические выражения для диффузионного потока газа и скорости роста нерастворенной фазы в виде разложений по степеням малого параметра, в качестве которого выступает относительная амплитуда колебаний температуры. Аналитические решения хорошо согласуются с результатами прямого численного моделирования конечно-разностным методом. Интересный результат заключается в том, что ввиду сильной экспоненциальной зависимости растворимости и коэффициента молекулярной диффузии от температуры возникает мгновенный диффузионный поток сквозь пористую среду, которым нельзя пренебречь, несмотря на

малость колебаний температуры поверхности. Ввиду нелинейного характера потоков они имеют ненулевое среднее значение, что приводит к переносу массы. Также показано, что поведение исследуемых зависимостей может носить принципиально различный характер в зависимости от преобладающего транспортного механизма (молекулярная диффузия или гидродинамическая дисперсия).

Во **второй главе** рассматриваются аналогичные процессы диффузионного переноса, где в качестве слаборастворимого вещества выступает двухкомпонентный газ. В этом случае аналитические соотношения могут быть получены лишь в изотермической постановке задачи. Однако и в этом случае удастся выявить такую характерную особенность, как неоднородный характер зависимостей относительных скоростей формирования пузырьковых фаз газов. При наличии тепловой волны задача решается численно, обсуждаются особенности стационарного режима эволюции зависимостей долевого состава нерастворенной газовой фазы от глубины массива.

Третья глава посвящена изучению электропроводности гранулированных сред (типа песчаных массивов) с поверхностным механизмом электропроводности. Теоретически устанавливаются свойства скейлинга зависимости макроскопической электропроводности от размера зерен при заданных механических напряжениях в массиве. Внимание к процессам переноса заряда в таких системах обусловлено возможностью косвенного определения транспортных свойств массивов по относительно легкодоступным измерениям электропроводности. Получен фундаментальный и красивый результат: закон скейлинга для электропроводности при масштабном преобразовании системы и постоянстве давления.

В **Заключении** диссертант формулирует основные результаты проведенных исследований.

По содержанию диссертации можно сделать следующие **замечания**:

1. Название диссертации представляется чересчур общим, поскольку в диссертации решаются вполне конкретные задачи, а не рассматриваются вообще все возможные процессы переноса во всевозможных пористых средах. То же самое можно сказать относительно названий глав, например, гл. 3 называется «Электропроводность гранулированных сред» — это даже более широкое понятие, чем тема докторской диссертации.

2. Цель диссертации сформулирована как «исследование процессов переноса в природных пористых системах». Это также очень широкая формулировка, кроме того, при такой формулировке затрудняется оценка степень ее достижения, т.к. исследование — это процесс, а не результат. Впрочем, следует заметить, что задачи работы сформулированы достаточно конкретно.

3. Положения, выносимые на защиту, не носят характер утверждений, справедливость которых должна быть подтверждена в процессе защиты. Они сформулированы, скорее, как результаты («найден аналитическое выражение...», «получены численные результаты и приближенные аналитические решения ...» и т.д.).

4. В работе отсутствуют выводы по главам, что затрудняет восприятие.

5. В тексте диссертации встречаются опечатки, несогласованные и стилистически неудачные предложения. Например, фразы «дисперсия распределения сил станет сколь угодно большая по сравнению со средней силы на заданной глубине» и «Визуализации сил в

трехмерном случае осложнена тем, что поверхности шаров рассеивают поляризованный свет во всех различных направлениях поляризации — находится шар под напряжением или нет» (стр. 18); «Другим выводом из анализа результатов численных расчетов состоит в интересном факте» (стр. 20) и т.д. Встречаются жаргонные выражения, например, «результаты аналитики» (стр. 67).

Впрочем, отмеченные недостатки не носят принципиальный характер и не влияют на общую положительную оценку диссертации. Работа содержит ряд новых оригинальных результатов и в целом выполнена на высоком научном уровне.

Заключение. Диссертация П.В. Краузина является законченной научно-квалификационной работой, в которой численными и аналитическими методами изучены явления диффузионного транспорта в насыщенных растворах при неоднородных и нестационарных полях термодинамических параметров. Также получены свойства подобия для соотношения между удельной электропроводностью определенного типа сред и размером гранул в них. Основные результаты работы представляются обоснованными и достоверными. Работа в целом грамотно написана и аккуратно оформлена. Текст диссертации и автореферата написан ясным научным языком. Автореферат достаточно полно и адекватно отражает содержание диссертации. Тема диссертации соответствует специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы. Работа прошла широкую апробацию на международных, российских и региональных конференциях и семинарах. Основные результаты опубликованы в 14 работах, включая 4 статьи в таких авторитетных журналах, как Письма в ЖЭТФ, Physical Review E и European Physical Journal, индексируемых в ведущих системах цитирования и рекомендуемых ВАК для публикации результатов кандидатских и докторских диссертаций.

Диссертационная работа «Процессы переноса в природных пористых средах» имеет важное научное и прикладное значение, удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор **Краузин Павел Васильевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.**

Отзыв обсужден на заседании кафедры нелинейной физики СГУ, протокол № 3 от 3 октября 2016 г.

Отзыв составил:

Рыскин Никита Михайлович
доктор физико-математических наук, профессор
заведующий кафедрой нелинейной физики
ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».
410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83
e-mail: RyskinNM@info.sgu.ru
Тел. 8(8452)514311

Подпись <i>Н.М. Рыскин</i>	удостоверяю
Ученый секретарь <i>И.В. Федусенко</i>	И.В. Федусенко
доцент	
" 3 " 10	20 16 г.