

ОТЗЫВ

официального оппонента Файзрахмановой Ирины Сергеевны
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

Диссертационная работа Краузина Павла Васильевича посвящена исследованию процессов диффузионного переноса слаборастворимых веществ в природных пористых средах, таких как заболоченные почвы, торфяные болота, донные отложения и т. п., при распространении в них температурной волны. Такие процессы могут сопровождаться формированием слоев пузырьков атмосферных газов или метана. Соответствующие растворяемые газы — метан, углекислый газ, кислород, азот и т. д. Проблема диффузии углекислого газа в пористой среде, насыщенной пузырьковой жидкостью (водой), напрямую связана с задачей захоронения индустриальных выбросов углекислого газа. Немаловажен и тот факт, что выделение метана — одного из главных парниковых газов — связано в основном с торфяными болотами и затопленными почвами. Кроме того, знание состояния системы (есть газовые слои или их нет) важно для предсказания ее реакции на изменение климата. В связи с этим можно смело утверждать, что рассматриваемые задачи представляются интересными, актуальными и практически значимыми.

Решаются задачи диффузионного переноса, без учета конвективного движения в системе, и это обоснованно, в работе приведены оценки, и оказывается, что характерное значение числа Рэлея для пористой среды для реальных параметров меньше критического значения для тех же параметров. Стоит также отметить универсальность используемой модели.

Рассмотренные явления обобщены на ряд систем с различным происхождением колебаний температуры поверхности, в том числе промышленных систем (фильтры, пористые элементы ядерных или химических реакторов и т. д.). Также с точки зрения физики, теория для слаборастворимых твердых веществ оказывается частным случаем теории для газов.

Научная новизна работы состоит в том, что в ней впервые:

- исследовано влияние температурных волн на транспорт и аккумуляцию слаборастворимых веществ (газов и твердых веществ: «нерасторимых» солей, газовых гидратов и т. д.) в пористых средах, насыщенных жидкостью;
- изучен процесс генерации пузырьковой фазы двухкомпонентных газов;
- теоретически исследована зависимость электропроводности гранулярных сред с поверхностным механизмом проводимости от размера зерен и механических нагрузок.

Общий объем диссертации 125 страниц, включая 66 рисунков и 4 таблицы. Диссертация состоит из общей характеристики работы, обзора литературы, трех оригинальных глав, заключения, библиографии и двух приложений. Во введении даются общая характеристика работы и обзор литературы. Первая глава посвящена численному и аналитическому исследованию диффузионного транспорта однокомпонентных слаборастворимых веществ в пористых средах, насыщенных жидкостью. В случае однокомпонентного газа, пузырьковая фаза полагается неподвижной, что имеет место для ряда геологических систем: богатые органическими углеводородами донные отложения, водоносные слои, торфяные болота и затопленные почвы. Найдено аналитические выражения для среднего по времени диффузионного потока слаборастворимых веществ через жидкость,

заполняющую пористое полупространство, при условии, что раствор всюду насыщен, и температура поверхности колеблется. Получены численные результаты и приближенные аналитические решения, определяющие распределение концентрации слаборастворимых веществ в пористом полупространстве, поверхность которого контактирует с резервуаром вещества (например, атмосферой), а температура поверхности колеблется. Во второй главе постановка предыдущей задачи усложняется наличием двухкомпонентного газа, растворенного в жидкости, заполняющей пористый массив. Рассматривается случай насыщенного смесью газов раствора (в пористом массиве всюду имеются пузырьки газовой фазы), в случае гидродинамической дисперсии и при изотермическом условии. Получены аналитические выражения для относительных скоростей формирования пузырьковых фаз газов в предельных случаях малых и больших пространственных масштабов, и найдены аналитические выражения для состава пузырьковой фазы двухкомпонентных газов в изотермическом пористом полупространстве с однородным по объему распределением источников. В третьей главе проведено теоретическое исследование зависимости электропроводности песчаных массивов от размера зерен и механических нагрузок. Гранулы являются диэлектриками, обосновывается поверхностный характер проводимости системы. Выведено скейлинг-соотношение для макроскопической удельной электропроводности гранулированных сред при преимущественно поверхностном механизме переноса заряда.

Диссертант показал владение и широким спектром аналитических методов решения задач, и методами численного исследования. Положения диссертации, выносимые на защиту, несомненно, являются обоснованными и новыми.

Однако по содержанию диссертации можно сделать следующие замечания:

1. Во введении слишком много внимания уделено истории развития теории растворимости газов в жидкостях, тогда как основная часть работы посвящена исследованию транспортных процессов, при которых зависимость растворимости от температуры и давления является важным обстоятельством, но не предметом исследования.

2. Из текста неясно, каким образом в численных расчетах записывалось уравнение для эволюции концентрации газа, находящегося в пузырьковой фазе. Так, например, величина F , отвечающая за изменение такой концентрации (формула (1.27), стр. 52), допускает случай $X_s - X > X_b$, при котором X_b становится отрицательной.

3. Материальный параметр q , входящий в закон растворимости газа в жидкости (формула (1.3), стр. 28), для всех рассматриваемых реальных газов положителен (табл. 1.1, стр. 28), однако при изучении диффузионного переноса двухкомпонентной смеси газов один из модельных газов имеет $q < 0$ (стр. 84). Что это физически означает?

4. Как всегда в большой работе, имеются некоторые грамматические ошибки (несогласование по падежам и числам) и опечатки («число Сорэ» на стр. 25, вместо общепринятого «число Соре», как в остальных случаях написания, и т.д.).

Сделанные замечания не снижают ценности проведенных автором исследований и положительной оценки диссертации. Полученные результаты являются актуальными и оригинальными. Основные результаты диссертации опубликованы в 14 работах, в том числе в журналах, входящих в мировые

системы цитирования. Полученные результаты исследований широко представлены на конференциях разного уровня.

Автореферат, в целом, отражает содержание диссертации.

Итак, диссертационная работа П.В. Краузина является законченной научно-исследовательской работой, в которой подробно изучены явления диффузионного транспорта в насыщенных растворах.

Считаю, что диссертационная работа «Процессы переноса в природных пористых средах» удовлетворяет всем требованиям Положения «О присуждении ученых степеней», а её автор, Павел Васильевич Краузин заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Я, Файзрахманова Ирина Сергеевна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,

Кандидат физ.-мат. наук, старший преподаватель кафедры Общей физики факультета Прикладной математики и механики ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» 614990, Пермский край, г. Пермь - ГСП, Комсомольский проспект, д. 29, ауд. 245, faizr2@gmail.com, +7 (342) 2-198-025.

Файзрахманова Ирина Сергеевна

04.10.2016

Подпись Файзрахманова ИС

ЗАВЕРЯЮ:

Ученый секретарь ПНИПУ

В.И. Макаревич

«4» 10 2016 г.