

**Отчет о проведении IV Всероссийской конференции с участием  
зарубежных ученых «Задачи со свободными границами:  
теория, эксперимент и приложения»<sup>1</sup>**  
(Бийск, 5–10 июля 2011 г.)

С 5 по 10 июля 2011 г. в Бийске проходила 4-я Всероссийская конференция с участием зарубежных ученых «Задачи со свободными границами: теория, эксперимент и приложения». В конференции приняло участие 112 специалистов, представляющих 30 организаций из 13 городов России (Барнаул, Бийск, Екатеринбург, Кемерово, Красноярск, Москва, Новосибирск, Пермь, Санкт-Петербург, Томск, Уфа, Хабаровск, Южно-Сахалинск) и 7 зарубежных организаций. Среди авторов представленных докладов – 48 докторов наук (в том числе 6 членов РАН) и 51 кандидат наук, 37 молодых ученых, аспирантов и студентов. Зарубежный состав участников был представлен специалистами из Великобритании, Израиля, Испании, Нидерландов, США, Франции и ФРГ.

На конференции было заслушано два пленарных доклада продолжительностью 30 минут, 43 пленарных доклада продолжительностью 20 минут, 20 устных секционных докладов продолжительностью 20 минут и 22 стендовых доклада. Авторам стендовых докладов предоставлялось по 5 минут для компьютерной презентации основных результатов. По сравнению с предыдущей конференцией, состоявшейся в Бийске три года назад, значительно выросло число зарубежных участников, что привело к необходимости издания тезисов докладов и программы на русском и английском языках. Конференция завершилась двумя экскурсиями по живописным местам Горного Алтая.

Задачи со свободными границами объединяют многих специалистов по механике сплошной среды и прикладной математике. Сибирский регион является признанным в мире центром исследований по данной тематике. В нем сложились и работают научные школы, возглавляемые академиками Л.В. Овсянниковым и В.Е. Накоряковым, членами-корреспондентами РАН С.В. Алексеенко и В.В. Пухначевым. Конференция организована совместными усилиями Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Института вычислительного моделирования СО РАН, Алтайского государственного университета и Бийского технологического института (филиала Алтайского государственного технического университета), на базе которого прошла конференция.

Теория и приложения задач со свободными границами имеют междисциплинарный характер. В этой области работают не только механики и математики, но и специалисты в области фазовых переходов, геофизики, материаловеды и представители инженерных наук. Естественно, что формат конференции не смог охватить все направления данной тематики. Так, на ней почти не были представлены проблемы упруго-пластического перехода, зато заметно расширилось, по сравнению с предыдущими тремя конференциями (2002, 2005, 2008 годы) представительство наук о Земле.

Не будет преувеличением сказать, что в таких направлениях, как теория поверхностных и внутренних волн, гидродинамика пленочных течений, теоретическое и экспериментальное исследование фазовых переходов, бийская конференция является одним из наиболее представительных форумов, проводимых на территории России. Об этом свидетельствует участие в ее работе, наряду с сибирскими учеными (сделавшими примерно половину докладов), представителей других крупных научных центров, прежде всего Перми, откуда приехало 16 человек, а также Москвы, Санкт-Петербурга, Екатеринбурга и Уфы.

---

<sup>1</sup> При поддержке РФФИ, грант № 11-01-06058

Одним из направлений, в которых российская наука до сих пор занимает передовые позиции, является изучение поверхностных волн и стратифицированных течений. Данная тематика была представлена на конференции 14 докладами. В докладе В.Е. Захарова (Новосибирский государственный университет и Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН) и А.И. Дьяченко (Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН) получило дальнейшее развитие гамильтонов формализм в классической задаче Коши-Пуассона о волнах на поверхности идеальной несжимаемой жидкости. Гамильтонова формулировка этой задачи была предложена В.Е. Захаровым в 1968 г. и с тех пор является мощным инструментом ее исследования. В докладе получено простое уравнение, описывающее эволюцию квазистационарных волн на поверхности жидкости. Уравнение основано на важной концепции исчезновения неупругих четырех-волновых взаимодействий для волн на воде и более удобно для анализа и численного моделирования, чем нелинейное уравнение Шрёдингера или уравнение Дитче.

В обзорном докладе К.Е. Афанасьева и Т.С. Рейн (Кемеровский государственный университет) "Численное моделирование взаимодействия уединенных и ударных волн в вязкой жидкости с различными преградами" проведен очень подробный сравнительный анализ методов расчета неустановившихся течений жидкостей со свободными границами. В центре внимания были сеточные и гибридные методы (в том числе комплексный метод граничных элементов), а также метод частиц. В качестве тестовых постановок при этом рассматривались задачи о накате уединенной волны на подводный уступ и наклонный берег, задача о колебаниях жидкости в ограниченном бассейне, задача о волнопродукторе. Дальнейшие перспективы, прежде всего, связаны с анализом режимов обрушения и переходом от двумерных к трехмерным расчетам. Ожидается, что данные исследования будут использовать бессеточные и условно-бессеточные методы, позволяющие проводить численное моделирование и после обрушения волны. Ряд успешных шагов в этом направлении охарактеризован в докладе С.Н. Карабцева (КемГУ), в котором рассматривались способы получения численного решения на начальных стадиях волнового процесса (пока не нарушается безвихревой характер течения) в контексте применения более универсальных методов.

Доклад Р.В. Шамина (Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН) был посвящен анализу полученных за прошедший период результатов численного моделирования волн-убийц. Таким популярным сегодня термином обозначаются аномально высокие поверхностные волны на воде, внезапно возникающие на фоне умеренного нерегулярного волнения. Автором проведено впечатляющее количество экспериментов (свыше 5000) со временем расчета в каждом из них не менее пятисот характерных периодов базовой волны. Эти численные эксперименты, наряду с теоретическими соображениями, основывающимися на методе аппроксимации исходных уравнений дифференциальными включениями, подтверждают гипотезу об устойчивости волн-убийц по начальным данным и внешним воздействиям.

В докладе Н.И. Макаренко и В.К. Костикова (ИГиЛ СО РАН) обсуждались результаты аналитического исследования нестационарной задачи о генерации нелинейных волн на поверхности глубокой идеальной жидкости погруженным эллиптическим цилиндром. Начальная по времени асимптотика решения получена для различных режимов движения тела (вертикальное всплытие и погружение, горизонтальное и комбинированное движения). Такие явные аналитические формулы оказываются весьма полезными для прогнозирования поведения волновой системы в различных диапазонах параметров и проведения серийных численных расчетов.

Доклад Т.А. Боднаря (Бийский технологический институт АлтГТУ) посвящен задаче о двумерных периодических стационарных волнах на поверхности жидкости. Автором проанализированы кинетическая и потенциальная составляющие полной энергии волны на периоде, из чего сделаны выводы о ее устойчивости.

Взаимодействие приливного движения в океане с топографией дна приводит к генерации внутренних волн. Обрушение внутренних волн и вызванное им перемешивание играют важную роль в динамике и крупномасштабной циркуляции глубинных слоев океана. В докладе Е.В. Ерманюка (ИГиЛ СО РАН) и Я.-Б. Флора (Университет Гренобля) изучалась задача о генерации внутренних волн горизонтальными колебаниями тора. С помощью созданной в ИГиЛ СО РАН методики было проведено количественное измерение пространственных распределений амплитуд внутренних волн на различных расстояниях от тора. Идентифицированы области усиления и обрушения внутренних волн, в то время как вблизи тора сохраняется устойчивая стратификация. Показано, что основным механизмом опрокидывания является гидростатическая неустойчивость.

Известно, что при набегании поверхностной волны большой амплитуды на берег зачастую происходит ее разрушение. Сходное явление имеет место и для внутренних волн, однако его механизмы оставались неясными вплоть до последнего времени. Исследованию таких механизмов был посвящен доклад Н.В. Гаврилова и В.Ю. Ляпидевского «Распространение поверхностных и внутренних волн большой амплитуды в прибрежной зоне: теория и эксперимент». В рамках трехслойной схемы течения построены математические модели распространения нелинейных волн в двухслойной жидкости с учетом развития неустойчивости и перемешивания на границе однородных слоев, являющиеся обобщением известных моделей второго приближения теории мелкой воды (уравнений Грина-Нагди, Чои-Камасса). Разработаны алгоритмы численного расчета нестационарных течений, построены аналитически точные решения, описывающие уединенные волны большой амплитуды, и проведены сравнения полученных решений с результатами лабораторных экспериментов по генерации, взаимодействию и затуханию волн предельной амплитуды. Полученные результаты применены для описания эволюции приповерхностных и придонных внутренних волн большой амплитуды в шельфовой зоне моря.

Длинноволновое приближение в задаче о движении многослойной жидкости во вращающемся бассейне с криволинейным дном было развито в докладе А.А. Чеснокова (ИГиЛ СО РАН). Им обнаружена аналогия между уравнениями такого движения и движения, описываемого обычными уравнениями мелкой воды в случае плоского дна и в отсутствие вращения. В ряде случаев найдено точечное преобразование, переводящее решения одной системы в решения другой. Теоретические результаты для движения вращающейся жидкости в бассейне с параболическим дном находятся в хорошем соответствии с данными экспериментов, проведенных М.В. Калашником.

Задача о волнах, образующихся при разрушении плотины, в течение более чем полувека привлекает внимание исследователей. Традиционно она решалась для случая однородной жидкости. Автомодельные решения этой задачи для модели двухслойной мелкой воды были построены в докладе В.В. Остапенко, П.Е. Карабута (ИГиЛ СО РАН) «Метод последовательных приближений решения задачи о распаде разрыва малой амплитуды».

Указанное приближение не всегда применимо в задачах подобного рода. В докладе А.А. Коробкина (Университет Восточной Англии и ИГиЛ СО РАН) «Отрыв свободной поверхности жидкости от подвижной вертикальной стенки» рассмотрен случай, когда возникает дополнительная свободная граница коразмерности два. Ее решение требует

построения детальной асимптотики на малых временах движения. Автор получил такую асимптотику в терминах полных эллиптических интегралов.

Методы теории функций комплексного переменного издавна применяются для анализа плоских стационарных задач со свободной границей. Возможности их использования в нестационарных задачах теории волн и струй обсуждались в докладе Е.Н. Журавлевой (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет) и Е.А. Карабута (ИГиЛ СО РАН) «Нагруженные комплексные уравнения в задачах со свободной границей». В нем исследовалась линейная система уравнений относительно искомых комплексных функций одной комплексной и одной вещественной переменной. Правые части системы зависят от значений неизвестных функций и их производных в некоторой точке комплексной плоскости. Помимо этого, данная система является переопределенной. Авторы получили условия корректности задачи Коши для этой системы.

В работе А.А. Бочарова, Г.А. Хабахпашева и О.Ю. Цвелодуба (ИТ СО РАН) с помощью пространственного модифицированного уравнения Буссинеска численно исследовались трехмерные стационарно бегущие возмущения на свободной границе горизонтального слоя жидкости. Построено несколько наиболее характерных и интересных волновых режимов, продемонстрировано влияние основных параметров задачи (величины и направления волнового вектора, поверхностного натяжения) на формы возмущений.

Гидродинамика пленочных течений – быстро развивающаяся область механики жидкостей, имеющая широкие выходы в приложения. Работы отечественных ученых во многом определяют современное состояние исследований в этой области. Пленочная тематика была представлена на конференции десятью докладами. Доклад Д.Г. Архипова, Д.И. Качулина и О.Ю. Цвелодуба (ИТ СО РАН, НГУ) посвящен анализу новой дивергентной системы уравнений для моделирования нелинейных волн на свободной поверхности пленки, стекающей по вертикальной плоскости. Проведено сравнение этой новой модели с рядом традиционных, установлены области применимости исследуемых моделей в рамках линейного подхода. Показано, что новая система хорошо описывает динамику линейных возмущений и является перспективной для исследования нелинейных волновых режимов.

В докладе С.П. Актершева (ИТ СО РАН) исследуются условия волнообразования в нагреваемой пленке жидкости при наличии термокапиллярного эффекта. Установлено, что для вертикальной пленки термокапиллярный эффект приводит к расширению области неустойчивости только при небольших значениях числа Пекле, а при больших значениях происходит сужение области неустойчивости.

В докладе А. Будляя (Университет Лилля, Франция) и В.Ю. Ляпидевского (ИГиЛ СО РАН) исследуется устойчивость периодических бегущих волн конечной амплитуды в течениях с умеренными числами Рейнольдса по наклонной плоскости. Фактически используется первое приближение теории мелкой воды, и проблема сводится к анализу гиперболической системы уравнений, в которой вязкие члены учтены заданием автомодельного профиля скорости течения в слое жидкости. Для рассматриваемого класса течений получены асимптотические формулы, дающие явное представление границ нелинейной устойчивости нелинейных волновых пакетов на плоскости определяющих параметров.

Исследованию волновой гидродинамики обдуваемых газом пленок жидкости посвящен доклад С.В. Алексеенко, Д.М. Марковича, А.В. Черданцева (ИТ СО РАН). При обдуве сокращаются продольные размеры и амплитуда волн, возникающих на поверхности пленки. Одновременно возрастают частота следования и скорость волн. Авторами

создана измерительная система полевого измерения локальной толщины пленки жидкости с высоким пространственным и временным разрешением. Эксперименты показали, что при воздействии интенсивным потоком газа на поверхности пленки жидкости сосуществуют волны двух типов. Основной объем жидкости переносится долгоживущими первичными волнами, характеризующимися высокой скоростью и амплитудой. На задних склонах первичных волн возникают короткоживущие вторичные волны, которые могут двигаться как медленнее, так и быстрее породившей их первичной волны.

Математическая модель движения полуограниченного слоя жидкости под действием тяжести по нагреваемой наклонной плоскости была сформулирована в докладе В.С. Ажаева (Южный методистский университет, Даллас), Д. Брутена и Л. Тадриста (Университет Марселя). От макроскопической части жидкости вниз по потоку распространяется очень тонкая прекурсионная пленка. Ее динамика определяется процессом испарения жидкости и действием расклинивающего давления. Созданная модель позволяет найти скорость линии контакта и темп испарения жидкости в зависимости от температуры и угла наклона плоскости.

В докладе Е.Н. Шатского и Е.А. Чиннова (ИТ СО РАН) представлены результаты экспериментального исследования эволюции поля температуры на поверхности нагреваемых пленок воды. Установлено, что при прохождении волнового фронта через нагреваемый участок возникающие в остаточном слое пленки жидкости температурные неоднородности приводят к возникновению на поверхности термокапиллярных сил, которые вызывают деформацию жидкой пленки и формирование струй.

А.В. Перминовым (Пермский государственный технический университет) использовалось длинноволновое приближение для исследования стекания пленки нелинейно-вязкой жидкости Уильямсона по наклонной твердой поверхности. Показано, что для вязкопластической жидкости вся пленка находится в устойчивом квазитвердом состоянии, если гравитационный параметр меньше единицы. Увеличение поля тяжести приводит к сдвиговому течению, которое быстро становится неустойчивым по отношению к длинноволновым колебательным возмущениям свободной поверхности. При дальнейшем увеличении гравитационного параметра течение вязкопластической жидкости может вновь стать устойчивым. Установлено, что при движении псевдопластической жидкости квазитвердая зона не образуется. Найдено критическое значение гравитационного параметра, при достижении которого течение в пленке становится абсолютно неустойчивым. Это значение равно нулю для вертикального слоя и стремится к бесконечности для слоя горизонтального.

Хотя длинноволновое приближение систематически используется при моделировании пленочных течений, вопрос его обоснования оставался открытым до самого последнего времени. Такое обоснование сделано в докладе Г. Прокерта (Технический университет Эйнховена, Нидерланды) и М. Гюнтера (Лейпцигский университет). Предполагается, что тонкий слой вязкой жидкости расположен на горизонтальной плоскости и что движение периодически по обеим горизонтальным координатам. Источником движения являются капиллярные силы. В точной постановке задача для системы Стокса требует задания начального профиля свободной поверхности и поля скоростей, в то время как предельное уравнение «забывает» информацию о начальной скорости. Это делает задачу обоснования длинноволнового приближения в высшей степени нетривиальной.

Доклад Т.П. Любимовой и Я.Н. Паршаковой (ИМСС УрО РАН) был посвящен анализу возникновения тепловой конвекции в двухслойной системе горизонтальных слоев несмешивающихся жидкостей при заданном тепловом потоке на внешних границах.

Авторами найдены монотонная и колебательная длинноволновые моды неустойчивости. Установлено, что имеются два типа монотонных возмущений. Для возмущений первого типа характерно возникновение конвекции в каждом из слоев, так что граница раздела остается практически недеформированной, и эти возмущения являются наиболее опасными при достаточно больших по модулю числах Галилея. Второй тип возмущений существенно связан с деформациями поверхности раздела. Показано, что при промежуточных значениях числа Галилея интенсивный обмен энергией между двумя типами возмущений ведет к возникновению колебательной неустойчивости.

В работе А.Е. Самойловой (Пермский ГУ) выполнено исследование колебательной неустойчивости плоского слоя жидкости с деформируемой свободной поверхностью в слабонелинейном приближении. При этом жидкость считается изотермически несжимаемой, а зависимость плотности от температуры учитывается не только в подъемной силе, но также и в уравнении неразрывности и в граничных условиях. Было обнаружено наличие колебательной моды неустойчивости при нулевом значении числа Марангони в условиях невесомости при нагреве со стороны свободной поверхности. В зависимости от данных задачи, эта неустойчивость, обусловленная деформируемостью свободной границы, проявляется в виде бегущей или стоячей волны.

Известно, что термокапиллярный эффект, обусловленный градиентом поверхностного натяжения на границе раздела неоднородно нагретой жидкости, может оказывать существенное влияние на движение жидкости. Это влияние особенно заметно при движении в тонких слоях или в условиях микрогравитации. Анализу роли термокапиллярного эффекта в различных течениях было посвящено девять докладов.

В работе И.И. Рыжкова (Институт вычислительного моделирования СО РАН) исследована термокапиллярная неустойчивость стационарного течения в бесконечном жидком цилиндре. В отличие от ряда более ранних работ, показано, что для такого течения, не только в области малых чисел Прандтля, но и для больших чисел Прандтля, наиболее опасными являются возмущения с азимутальным волновым числом равным единице. Найдена новая неустойчивая мода с таким волновым числом. Таким образом, смены критической азимутальной моды на осесимметричную моду с ростом числа Прандтля не происходит. Этот вывод находит экспериментальное подтверждение.

В докладе М.К. Ермакова (Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН) изложены результаты исследования устойчивости термокапиллярных течений в жидких мостах при высоких числах Прандтля, соответствующих современным экспериментам с использованием силиконовых масел. Для моста в форме прямого цилиндра исследована зависимость критического числа Марангони и критической частоты в широком диапазоне чисел Прандтля. Найдено значение числа Прандтля, при котором происходит смена критического азимутального волнового числа от 2 к 1. Аппроксимация нейтральной кривой для больших чисел Прандтля сравнивается с кривой, полученной при обработке экспериментальных данных. Определена нейтральная кривая термокапиллярного течения для космических экспериментов MEIS-2 (Япония, 2009) с силиконовым маслом, у которого число Прандтля равно 68.

В работе И.И. Вертгейма, М.А. Кумачкова (ИМСС УрО РАН) численно исследовалась термокапиллярная конвекция в плоском слое жидкости, вызванная локальным источником тепла на свободной поверхности. Авторами использовалась как модель длинноволнового приближения, так и точная трехмерная постановка задачи. Рассмотрены плоская и осесимметричная формы неоднородности теплового потока. Исследована линейная и нелинейная устойчивость состояния равновесия по отношению к двумерным

возмущениям. Определены условия применимости длинноволнового приближения, проведено сопоставление с данными эксперимента.

О.А. Фроловская (ИГиЛ СО РАН) и А.А. Непомнящий (Израильский технологический институт) исследовали устойчивость основного решения двухслойной слабо-сжимаемой бинарной жидкости с диффузной границей раздела к длинноволновым возмущениям. В докладе рассматривалось влияние расслоения по плотности в предельном случае больших чисел Галилея. В рамках линейной теории устойчивости получен длинноволновой предел общего дисперсионного соотношения задачи. Изучено влияние силы тяжести, эффекта Марангони на свободной границе и напряжений Кортвега внутри диффузной границы раздела на устойчивость системы.

Однонаправленные двухслойные течения жидкостей в цилиндрических областях были исследованы в докладе В.К. Андреева (ИВМ СО РАН). Эти решения являются аналогами известных решений Остроумова и Бириха, в которых продольный градиент температуры является постоянной величиной. Автор изучил стационарные течения при различных граничных условиях, в частности, при заданном движении стенки трубы, а также нестационарные движения, вызванные совместным действием зависящих от времени продольных градиентов давления и термокапиллярного эффекта. Существенно, что указанные градиенты в жидкостях связаны друг с другом. Если градиент давления в одной из жидкостей стабилизируется с ростом времени, то и решение задачи стремится к стационарному. Кроме того, решена обратная задача: по заданному расходу в одной из жидкостей определены поля скоростей и температур в слоях. Близкая по постановке задача, осложненная наличием пассивной примеси в одной из жидкостей, рассмотрена в докладе Н.Л. Собачкиной (Сибирский федеральный университет). Ею также рассмотрен предельный случай задачи, когда стенка отсутствует и внешняя жидкость простирается до бесконечности. Здесь обнаружено отсутствие стабилизации течения на больших временах.

Обобщение решений Бириха на трехмерный случай дано в докладе О.Н. Гончаровой (Алтайский государственный университет) и В.В. Пухначёва (ИГиЛ СО РАН). В нем, в частности, рассматривалось движение двухслойной жидкости в бесконечной цилиндрической трубе квадратного сечения с границей раздела, определяемой из условий капиллярного равновесия. Поле скоростей имеет три компоненты, зависящие от двух координат в сечении трубы, в то время как давление и температура в слоях зависят еще линейным образом и от третьей координаты. Характерной особенностью стационарной задачи является образование симметричных вихревых структур в сечении трубы, которые устойчивы при малых числах Грасгофа.

Тенденция миниатюризации устройств в различных областях техники стимулирует исследование двухфазных течений в микроканалах. В большинстве выполненных ранее работ рассматривались относительно длинные каналы. Доклад Е.А. Чиннова (ИТ СО РАН) и О.А. Кабова (Свободный университет Брюсселя и ИТ СО РАН) был посвящен экспериментальному изучению двухфазных течений в прямоугольных коротких горизонтальных каналах высотой от 100 до 500 мкм. Изучены различные типы течений и переходы между ними. Зарегистрированы классические режимы двухфазных течений в каналах: пузырьковый, снарядный, пленочный и кольцевой. Обнаружены новые режимы течения (струйный, вспененный и капельный), характерные для коротких микроканалов. Обнаружены два типа неустойчивостей: боковая (газожидкостное взаимодействие в боковых частях канала) и фронтальная (взаимодействие жидкости и газа при выходе жидкости из канала). Они оказывают определяющее влияние на переходы между различными режимами течений в микроканалах.

Большой цикл работ по изучению концентрационной конвекции представила пермская гидродинамическая школа. В докладе Р.В. Бириха (Институт механики сплошных сред УрО РАН) изучены особенности постановки граничных условий при моделировании концентрационной конвекции. Этот тип конвекции, характеризующийся большим диффузионным временем, обладает рядом существенных отличий от тепловой конвекции. Как показывают эксперименты, одновременное существование концентрационной гравитационной и капиллярной конвекции обычно приводит к возникновению колебательного режима. Другая особенность концентрационной конвекции при наличии межфазных границ связана с тем, что выход молекул поверхностно-активных веществ (ПАВ) на свободную границу имеет механизм, отличный от формирования возмущения температуры поверхности. На свободной границе жидкости образуется поверхностная фаза, в которой концентрация ПАВ определяется конкуренцией адсорбционного и десорбционного процессов. Концентрационная конвекция Марангони начинается при достижении на поверхности некоторого конечного градиента концентрации ПАВ. Это заставляет при моделировании поверхностной фазы приписывать ей "бингамовские" свойства.

Конвективные течения при наличии локальной неоднородности распределения ПАВ вблизи свободной поверхности были предметом доклада А.И. Мизёва, Р.В. Бириха (ИМСС УрО РАН). В нем представлены результаты экспериментального и теоретического исследования конвекции Марангони, индуцированной как источником, так и стоком ПАВ. В случае источника могут осуществляться как стационарный, так и колебательный режимы конвекции. Критерием подобия, определяющим выбор режима, является динамическое концентрационное число Бонда. Наличие стока ПАВ на поверхности жидкости аналогично существованию источника поверхностно инактивного вещества. В этом случае конвекция Марангони не возникает.

Взаимодействие поверхностного течения концентрационно-капиллярной природы с адсорбированной плёнкой нерастворимого ПАВ экспериментально изучалось А.И. Мизёвым (ИМСС УрО РАН), Д.А. Брацуном (Пермский государственный педагогический университет) и А.И. Луцик (ИМСС УрО РАН). Динамика формирования поверхностной фазы исследовалась методом пластинки Вильгельми с барьерной системой Лэнгмюра-Блоджет. При построении математической модели авторы заострили свое внимание на формулировке адекватных граничных условий, так как поверхностные течения развиваются при граничных условиях, отличных от условий на «чистой» свободной поверхности. Показано, что в случае локального источника массы, расположенного на поверхности жидкости, поверхностное течение теряет аксиальную симметрию уже при сравнительно малых поверхностных концентрациях сурфактанта.

В докладе М.О. Денисовой и К.Г. Костарева (ИМСС УрО РАН) представлены результаты экспериментального изучения конвекции Марангони на свободной поверхности воды при локальном внесении микрокапли водного раствора ПАВ и развития колебательных режимов концентрационной конвекции вблизи пузырька газа в горизонтальном канале с неоднородным раствором ПАВ. Визуализация течений показала, что в обоих случаях возникавшее движение имело ярко выраженный пороговый характер. По результатам опытов авторам удалось оценить влияние поверхностной активности и растворимости ПАВ на структуру течения и ее изменение со временем, а также найти пороговые значения перепада концентрации и определить порядок критических чисел Марангони.

Динамика разрыва тонкого слоя жидкости на жидкой подложке при локальном внешнем воздействии экспериментально изучалась в работе А.В. Шмырова, К.Г. Костарева (ИМСС УрО РАН). Авторы определили зависимость скорости разрыва слоя от его толщины и вязкости образующего его жидкости.

Конвекция Марангони может оказывать существенное влияние и на поведение капель жидкости в окружающей жидкой среде. О.М. Лаврентьева (Израильский технологический институт и ИГиЛ СО РАН), Л. Розенфельд и А. Нир (Израильский технологический институт) исследовали деформацию составной капли под действием вязких напряжений и непостоянства поверхностного натяжения. Рассмотрены случаи термокапиллярного движения во внешнем градиенте температуры и движения, вызванного теплопереносом между фазами. Показано, что в последнем случае деформация стационарна. При движении же в неизотермической внешней жидкости, форма капли меняется по мере ее продвижения в более теплые области. В экстремальных случаях одна из жидкостей, составляющих каплю, поглощает другую, либо происходит разрыв капли и разделение фаз.

В экспериментах С.В. Стебновского, выполненных около 15 лет назад, было обнаружено, что две капли, погруженные на расстояние порядка их размеров в равноплотную жидкую среду и не растворимые в ней, начинают медленное взаимное сближение. Это явление, в котором играют роль силы поверхностного натяжения на границе раздела, реологические свойства материала капель и жидкой матрицы, диффузионные и другие механизмы, до сих пор не получило однозначной трактовки. В докладе Ю.В. Пивоварова (ИГиЛ СО РАН) предложена модель процесса, в которой жидкая матрица считается средой Бингама. При подходящем подборе параметров среды автору удается рассчитать процесс сближения капель. Расчетная и экспериментальная зависимости средней скорости капли от времени отличаются лишь на заключительном этапе сближения, предшествующем слиянию капель.

А.А. Алабужев (ИМСС УрО РАН) и М.В. Хеннер (Университет Западного Кентукки, США) изучали влияние вертикальных вибраций на длинноволновую конвекцию Марангони в тонкой пленке жидкости, подогреваемой снизу. Исследование устойчивости показало, что в отсутствие шума вибрации не меняют порог возникновения конвекции; при наличии шума имеет место дестабилизация слоя. Нелинейные расчеты подтвердили вывод о подкритическом возникновении конвекции в последнем случае. В работе также выполнен асимптотический анализ, описывающий переход к осредненному описанию при увеличении частоты вибраций.

Задача о движении линии контакта трех фаз и связанная с ней проблема динамического краевого угла находится в центре внимания специалистов на протяжении последних пятидесяти лет. В докладе А.А. Алабужева (ИМСС УрО РАН) рассматривалось влияние гистерезиса краевого угла на колебания цилиндрической капли жидкости. Движение контактной линии моделировалось эффективным граничным условием – скорость движения контактной линии прямо пропорциональна углу отклонения от равновесного значения, и ее движение возможно, если значение краевого угла превышает некоторое критическое значение. На каплю действует внешняя вибрационная сила, которая направлена параллельно оси симметрии. Амплитуда вибрации мала по сравнению с характерными размерами капли. Построены диаграммы областей движения контактной линии в зависимости от частоты вибрации и критического краевого угла. Вычислена амплитуда максимального отклонения боковой поверхности в зависимости от частоты внешнего воздействия. Обнаружено существование антирезонансных частот, при которых контактная линия неподвижна. Близкая задача рассмотрена в докладе А.О. Иванцова (ИМСС УрО РАН) «Динамика капли жидкости на подложке при высокочастотных вибрациях». Здесь задача рассматривалась в осесимметричной геометрии.

Вибрационная тематика на конференции была представлена еще тремя докладами. В докладе А.Г. Петрова (ИПМех РАН) «Механизмы слияния и дробления пульсирующих в

жидкости газовых пузырьков» была рассмотрены задачи о нелинейных колебаниях двух близко расположенных сферических пузырьков или одиночного пузырька под действием внешнего периодического поля давлений. В первой задаче получено условие слияния пузырьков, которое качественно подтверждается экспериментами Б.В. Бошнякова. Для колебаний одиночного пузырька в результате нелинейного взаимодействия радиальной и деформационной мод при их резонансе энергия радиальных колебаний переходит в энергию деформационных колебаний. Амплитуда последней с номером  $n$  превосходит амплитуду радиальной моды в  $3n$  раз. Этот эффект качественно объясняет результаты экспериментов по дроблению пульсирующих пузырьков в жидкости, описанных в известной монографии Р.И. Нигматулина.

Большой интерес аудитории вызвал доклад В.Н. Хмелева, Р.Н. Голых, С.С. Хмелева, Р.В. Барсукова и А.В. Шалунова (Бийский технологический институт АлтГТУ) «Выявление оптимальных условий и режимов акустического воздействия на вязкие и дисперсные среды». Примечательно, что от имени коллектива, включающего профессора и двух кандидатов наук, доклад делал студент Р.Н. Голых. В докладе теоретически и экспериментально исследована кавитация вязкой жидкости при воздействии ультразвука на жидкость. Проведенные теоретические исследования позволили выявить возможности реализации режима развитой кавитации и обеспечения максимальных размеров кавитационной области в ограниченных объемах. Экспериментальные исследования условий и режимов формирования зоны кавитации для ряда жидкостей в сосудах различной формы и объема позволили установить оптимальные ультразвукового воздействия, которые хорошо согласуются с полученными теоретическими значениями. Результатом исследований явилось создание ряда специализированных ультразвуковых технологических аппаратов.

Четыре доклада было посвящено задачам испарения и кипения. В докладе В.Е. Накорякова и С.Я. Мисюры (ИТ СО РАН) изучалась динамика испарения капель водно-спиртовых смесей на поверхностях нагрева. Была разработана новая экспериментальная методика измерения текущей массы капли с применением электронных весов. Установлено, что характер испарения капли зависит от её формы, объема и носит нелинейный характер. В работе измерены плотности теплового потока капли и коэффициенты теплоотдачи при постоянной температуре стенки. При пузырьковом кипении время испарения капли на полированной поверхности увеличилось в 5-6 раз, а коэффициент теплоотдачи, соответственно, уменьшился в несколько раз. На заключительной стадии испарения при уменьшении поверхности капли наблюдаются капиллярные волны и уменьшение температуры верхней межфазной поверхности на  $5-7^{\circ}\text{C}$ . Измерения с помощью тепловизора выявили значительную неизотермичность и отсутствие осевой симметрии температурного поля капли, а также недогрев воды, который может достигать  $30^{\circ}\text{C}$ .

Актуальный вопрос о влиянии наночастиц на процесс испарения рассматривался в докладе В.Е. Жукова, А.Н. Павленко, М.И. Моисеева (ИТ СО РАН) «Экспериментальное исследование влияния наноразмерных частиц  $\text{SiO}_2$  во фреоне-21 на скорость распространения самоподдерживающегося фронта испарения». Опыты проводились с узким горизонтальным цилиндром, погруженным в жидкость. Показано, что при больших интенсивностях нагрева на поверхности цилиндра образуется полость пара, распространяющаяся с ускорением. Имеется сильная зависимость скорости распространения фронта пара от величины теплового потока. Это связывается с развитием неустойчивостей на межфазной поверхности. Оказалось, что добавление в чистую жидкость 0,001 мольной доли порошка  $\text{SiO}_2$  с размером частиц порядка 25 нм привело к существенному увеличению скорости распространения парового фронта.

Влиянию испарения на теплоотдачу в пленочных течениях был посвящен доклад В.В. Кузнецова (ИГиЛ СО РАН). Здесь построена математическая модель для расчета движения жидкой пленки совместно с газовым потоком в микроканале с учетом взаимного влияния процессов испарения, теплоотдачи, переноса пара газовым потоком, образования термокапиллярных поверхностных структур и переменного тяготения. Течения предполагаются нестационарными и трехмерными. Проведены расчеты полей скорости, температур в жидкой и газовой фазах, концентрации пара и формы границы раздела при течении в микроканале. Установлено, что коэффициент теплоотдачи существенно зависит от управляющих параметров процесса – чисел Рейнольдса и Марангони, а также от локальных условий.

Доклад С.П. Актершева и В.В. Овчинникова (ИТ СО РАН) содержал последние результаты экспериментального и теоретического изучения динамики паровой полости, образующейся на поверхности цилиндрического нагревателя при взрывном вскипании.

В теории гидродинамического удара усилиями новосибирских ученых в последнее время был достигнут значительный прогресс. Эта тематика была представлена на конференции тремя докладами сотрудников ИГиЛ СО РАН. Плоская задача о наклонном входе тела с пологим дном в тонкий слой жидкости рассмотрена в докладе Е.А. Батяева и Т.И. Хабахпашевой. Интерес к ней вызван такими приложениями, как определение нагрузок при аварийной посадке самолета или при движении быстроходных судов. Задача решается совместно – течение жидкости, обусловленное движением тела, и само движение тела определяются одновременно. Эффективный метод решения подобных сопряженных задач разработан А.А. Коробкиным. Авторы доклада рассчитали эффекты, обусловленные вращением тела и произвольным расположением точки касания свободной границы относительно центра масс тела.

Как известно, начальная стадия удара твердого тела по свободной поверхности жидкости существенно зависит от формы тела. Доклад Л.А. Ткачевой посвящен плоской задаче об ударе свободно падающего ящика по тонкому слою жидкости под малым углом. Задача решается методом согласования асимптотических разложений в четырех областях, на которые разбивается область течения. Приводятся примеры расчетов, демонстрирующие, что все параметры задачи (масса, размеры, угол наклона и скорость ящика, толщина слоя) существенно влияют на характер движения ящика.

В ряде инженерных приложений возникают проблемы, связанные с ударом жидкости по упругим панелям с захватом воздуха между панелью и свободной границей жидкости. Такие удары возникают, например, при колебаниях сжиженного газа в баках танкеров. В докладе Т.И. Хабахпашевой и А.А. Коробкина изучается начальная стадия удара несжимаемой жидкостью по рифленой упругой панели, снабженной жесткими ребрами. Между панелью и жидкостью происходит захват сжимаемого газа. Поставленная задача гидроупругости решается в связанной постановке, т.е. нагрузки со стороны жидкости и газа и прогиб пластины находятся одновременно. Исследуются эффекты, связанные с влиянием сжимаемости газа в каверне.

Задачи со свободной границей, возникающие в электрогидродинамике и магнитной гидродинамике, в течение многих лет изучаются научными коллективами Барнаула, Екатеринбурга, Новосибирска, Перми, Санкт-Петербурга и Уфы. В докладе В.А. Солонникова (Санкт-Петербургское отделение Математического института им. В.А. Стеклова РАН) рассматривается эволюция изолированной массы вязкой несжимаемой капиллярной проводящей жидкости вблизи режима равномерного жесткого вращения при наличии слабого магнитного поля. Доказано, что наличие магнитного поля не влияет на устойчивость указанного режима: если функционал потенциальной энергии имеет положи-

тельно определенную вторую вариацию, а начальное значение магнитного поля достаточно мало, то вращение экспоненциально устойчиво.

В докладе О.В. Зубаревой и Н.М. Зубарева (Институт электрофизики УрО РАН) «Равновесные конфигурации поверхности проводящей жидкости в магнитном поле проводника с током» методом конформных отображений найдены точные решения для равновесных конфигураций поверхностей проводящей жидкости в магнитном поле системы прямых проводников с током, расположенных параллельно границе жидкости.

В докладе Н.М. Зубарева «Динамика поверхности раздела диэлектрических жидкостей в электрическом поле» представлена динамика поверхности раздела двух идеальных диэлектрических жидкостей во внешнем однородном электрическом поле. Уравнения движения в плоской геометрии сведены к конечному числу обыкновенных дифференциальных уравнений. Установлено формирование точки заострения поверхности раздела за конечное время. Полученные результаты могут быть проверены экспериментально и представляют интерес для ряда задач электрофизики.

В докладе К.А. Бушуевой, К.Г. Костарева (ИМСС УрО РАН) «Эволюция слоя феррожидкости на жидкой подложке и его устойчивых разрывов под действием магнитного поля» представлены результаты экспериментального исследования влияния магнитного поля на горизонтальный слой феррожидкости. Включение нормального магнитного поля вызывает неустойчивость горизонтального слоя, который распадается на упорядоченную систему капель. При воздействии однородного поля происходит своеобразное «пинчевание» горизонтального слоя. В случае вертикального неоднородного осесимметричного поля возможно образование разрыва слоя в форме правильного круга. Созданный разрыв может остаться после снятия магнитного поля, если исходная толщина сплошного слоя не превышает некоторого критического значения. В свою очередь, существующий устойчивый разрыв слоя может быть ликвидирован путем наложения однородного продольного магнитного поля.

В докладе В.П. Житникова, Р.Р. Муксимовой, А.Р. Салимьянова (Уфимский государственный авиационный технический университет) «Формирование границ при нестационарной электрохимической обработке круглым электродным инструментом» получены зависимости геометрических параметров обрабатываемой поверхности от времени. Для решения данной задачи использован метод конформных отображений и формулы Шварца и Келдыша-Седова. Данная работа представляет собой успешный пример использования изощренной математической для решения сугубо прикладной задачи.

Значительное место в программе конференции заняли доклады, посвященные изучению фазовых переходов в подвижных конденсированных средах. Данное направление успешно развивается в Томске и Барнауле, где, помимо признанных специалистов, в нем работают аспиранты и студенты местных вузов. В докладе А.Г. Князевой (Томский политехнический университет и Институт физики прочности и материаловедения СО РАН) предложены модели перераспределения примесей в условиях ионной имплантации в рамках модели механики деформируемого многокомпонентного континуума с учетом взаимовлияния, тепловых, диффузионных и механических процессов. Показано, что при определенных условиях модели допускают линеаризацию, что удобно для применения классических аналитических методов. На примере двух- и трехкомпонентных систем показано, что механические напряжения в диффузионной зоне могут быть причиной волнового диффузионного фронта и немонотонного распределения концентраций. Установлено, что в трехкомпонентной неизотермической системе с напряжениями из девяти коэффициентов переноса независимы только четыре. Предложена модель

многокомпонентной среды, основанная на известной аналогии между линейными и упругими и вязкими напряжениями

В докладе М.В. Крипаковой (ТПУ), А.Г. Князевой и И.М. Гончаренко (Институт сильноточной электроники СО РАН) представлены данные экспериментальных исследований по осаждению нитридного покрытия в условиях вакуумно-дугового метода. Предложена модель роста покрытия системы Ti-Al-N с учетом перекрестных диффузионных потоков и образованием нитридных фаз. Скорость движения границы, связанной с ростом покрытия, считается заданной (известной из эксперимента), что позволило предложить для численной реализации модели алгоритм с переменным шагом по времени, определяемым из условия, что за каждый шаг по времени покрытие увеличивается на один пространственный шаг. Дана оценка механических напряжений, возникающих в диффузионной зоне.

В работе М.А. Миколайчука (ИФПМ СО РАН) и А.Г. Князевой исследована двумерная задача о насыщении примесью из покрытия пластины, находящейся в условиях одноосного механического нагружения. Механическая часть задачи сформулирована с использованием гипотезы Бернулли-Эйлера. Задача о механическом равновесии двухслойной пластины частично решается аналитически: условия равновесия для результирующих сил и моментов сил позволяют свести задачу к системе алгебраических уравнений, имеющей точное решение. В диффузионной части задачи учитываются различные механизмы влияния напряжений на массоперенос. Один из них связан с изменением активационного объема. Второй – аналогичен явлению бародиффузии в жидкой фазе. Дополнительно следствием конечной толщины пластины является эффективный «конвективный» перенос примеси. Полученная нелинейная диффузионная задача решается численно с использованием неявной разностной схемы, покоординатного расщепления и линейной прогонки.

В докладе Ю.А. Чумакова (ИФПМ СО РАН) и А.Г. Князевой предложена модель разложения углеводорода в окрестности одиночной сферической частицы, поглощающей СВЧ-излучение. Жидкий углеводород рассматривается как сжимаемая вязкая жидкость, движение которой описывается уравнениями Навье-Стокса. Задача решается численно с помощью специально разработанного алгоритма с переменным шагом по времени. Вследствие низкой теплопроводности жидкости и высокой теплопроводности частицы в окрестности границы раздела фаз возникает значительный температурный градиент, который приводит к быстрому течению вещества вследствие явления теплового расширения. В результате химической реакции образуются низкомолекулярные продукты, отличие свойств которых от свойств исходного углеводорода приводит к явлению концентрационного расширения, также приводящему к быстрому течению вещества. В результате в окрестности частицы образуется область с пониженной плотностью, что можно трактовать как образование газовой полости. Это явление наблюдается экспериментально.

В работе С.А.Шанина (ТПУ) и А.Г.Князевой предложена модель перераспределения ионов в слабоионизованной плазме в условиях магнетронного нанесения покрытий. В случае расположения вращающегося манипулятора в центре цилиндрической камеры, задача оказывается двумерной в цилиндрической системе координат и решается численно. Результат решения этой задачи об определении концентрации и скорости частиц в плазме используется для расчета роста покрытия на подложке. Первый вариант модели реализован для двухкомпонентной плазмы и единственного магнетрона, но модель допускает обобщение на более сложные условия нанесения покрытий. В расчетах показано, что скорость вращения манипулятора и размер камеры оказывают влияние на распределение концентраций и динамику роста покрытия.

В докладе Г.М. Полетаева, А.М. Сагалакова и П.С. Стенченко (АлтГТУ, АлтГУ) «Ляпуновская и структурная неустойчивости в задачах молекулярной динамики» с позиции теории динамических систем рассматривается вопрос моделирования методом молекулярной динамики аморфных металлов. Аморфные металлы находят все большее применение в различных отраслях науки и техники (сердечники магнитных головок, магнитомеханические датчики, фотоприемники и др.). Они уже начинают кое-где вытеснять обычные металлы и сплавы с кристаллической структурой благодаря своим уникальным свойствам: высокой прочности, коррозионной стойкости, изотропности, узкой петли гистерезиса и др. Высокая прочность аморфных металлов и сплавов связана с отсутствием в них дефектов структуры, характерных для кристаллических сред. Показано, что для молекулярно-динамических моделей характерны как неустойчивость по Ляпунову, так и структурная неустойчивость по Андронову и Понтрягину, из-за чего конкретная атомная структура аморфных металлов, получаемых путем сверхбыстрого охлаждения расплавов, является непредсказуемой. Поэтому атомная структура аморфных металлов принципиально невоспроизводима. Однако, как показали численные расчеты, при достаточно больших скоростях охлаждения атомная структура аморфных металлов в определенной степени стабилизируется и, несмотря на наличие топологического хаоса, следует ожидать стабилизации макроскопических параметров – как в данной модели, так и в реальном эксперименте.

Системы уравнений, описывающие движения неоднородных сплошных сред, имеют сложную математическую природу. Они нелинейны, имеют высокий порядок и не имеют определенного типа. Дополнительные сложности вызывают наличие свободных границ и фазовых переходов. Все это требует развития новых математических подходов к анализу начально-краевых задач для этих уравнений.

Доклад К.А. Шишмарева (АлтГУ) «Тепломассоперенос в тающем снеге» посвящен исследованию корректности одномерной модели, в которой тающий снег рассматривается как трехфазная среда, состоящая из воды, воздуха и льда. В основу модели положены законы сохранения массы с учетом фазовых переходов, уравнения двухфазной фильтрации Маскета-Левретта для воды и воздуха, уравнения сохранения энергии для тающего снега. В докладе И.Г. Ахмеровой (АлтГУ) «Локальная разрешимость краевой задачи для уравнений одномерного движения двухфазной смеси» исследуется нестационарное движение теплопроводной смеси «газ – твердые частицы». Искомые функциями в системе уравнений являются скорости и давления фаз, общая температура смеси и концентрация твердых частиц. Существенно, что коэффициенты взаимодействия фаз, вязкости и теплопроводности зависят от концентрации частиц.

Теория движения жидкости в пористой среде долгое время развивалась как раздел гидродинамики. В последнее время на передний план выходят сопряженные постановки задач, в которых нужно учитывать деформацию пористого скелета и его реологические свойства. Этому вопросу посвящена работа А.А. Папина и М.А. Токаревой (АлтГУ) «Фильтрация сжимаемой жидкости в вязкоупругой горной породе», где установлена корректность многомерной начально-краевой задачи для соответствующей системы квазилинейных уравнений.

Проблемы добычи и транспортировки углеводородов приводят к постановкам новых задач со свободными границами. Одна из них обсуждалась в докладе А.Г. Петровой (АлтГУ) и А.А. Коробкина (Университет Восточной Англии и ИГиЛ СО РАН) «Математическое моделирование течения парафинированной нефти в подводном трубопроводе». Он посвящен описанию процессов сегрегации, гелизации и отложения неподвижных депозитов на стенках трубы, пролегающей в области температур, которые

существенно ниже, чем критические для затвердевания парафинов и образования депозитов. Актуальность построения «хороших» математических моделей таких процессов не вызывает сомнений. Этой проблематике посвящена обширнейшая литература. В докладе проводится анализ различных подходов к моделированию физических процессов, происходящих в трубопроводе. Разработан асимптотический метод решения задачи, основанный на выделении двух масштабов: «быстрого», обусловленного аксиальным переносом, и «медленного», связанного с процессами диффузии и эволюцией свободной границы раздела фаз.

При бурении скважин из-за превышения скважинного давления над пластовым в нефтяной пласт проникает фильтрат бурового раствора и одновременно на внутренней стенке скважины нарастает глинистая корка. Фронт проникновения фильтрата и поверхность корки представляют неизвестные границы, подлежащие определению. Указанная задача возникает в связи с необходимостью правильно интерпретировать результаты электромагнитного каротажа скважин. Ранее изучение зоны проникновения проводилось для случая, когда деформацией скелета можно пренебречь. Однако при больших давлениях в пласте возникают значительные напряжения, которые меняют проницаемость пласта и сказываются на динамике фронта проникновения. В докладе В.В. Шелухина (ИГиЛ СО РАН) предложена математическая модель, которая позволяет определить роль деформаций в фильтрационных течениях вблизи скважины. Дано исследование фронта проникновения и проведено сравнение с известными результатами для жесткого пористого скелета.

В рамках конференции прошла специальная сессия, посвященная математическому моделированию природных процессов. Наряду с российскими учеными, в ней приняла участие группа специалистов из Института полярных и морских исследований Альфреда Вегенера (ФРГ). Рассматривались процессы в эстуариях северных рек, формирование ледового и снежного покрова в водоемах, конвекция биологического материала, массообмен в русловых течениях и другие вопросы.

Задачи ледотермики и динамики субполярных морей являются актуальными в связи с возросшим интересом научных и деловых кругов мирового сообщества к изучению вод арктического бассейна и к детализации процессов в руслах и эстуариях великих сибирских рек. В этом плане оказался примечательным доклад Т.П. Брея, К.Х. Вилтшире (Институт им. А. Вегенера), в котором изложены общие проблемы функционирования водных экосистем в арктических морях и исследовательский аппарат, применяемый для изучения гидрофизических, гидробиологических, гидрохимических и экологических процессов. Сформулированы научные приоритеты и развиваемые подходы для решения практических задач, в которых упор делается на математическое моделирование.

Доклад А. Краберг, И. Буссмана, М. Лёдера, К.Х. Вилтшире (Институт им. А. Вегенера) посвящен результатам судовых экспедиционных исследований биологических характеристик прибрежных участков моря Лаптевых. Основное внимание уделено динамике и путям миграции фитопланктона в зоне смешения речных (из рукавов дельты р. Лены) и морских вод. Анализ данных показал сильное различие видового разнообразия фитопланктона в береговой зоне и открытом море. Ряд инструментально полученных данных оказался не поддающимся интерпретации с точки зрения общепринятых положений – например, при обнаруженной высокой концентрации фитопланктона концентрация хлорофиллы была неожиданно низкой. Этот и другие артефакты подлежат осмыслению в перспективе, желательно, с помощью подходящих гидродинамических и гидробиологических моделей. Работа имеет важный практический аспект, связанных с получением измерений при крайне слабой изученности северных районов и отсутствию достоверной информации – тем более, биологического характера. Мониторинговые

исследования и системный анализ данных дадут основу для создания адекватного информационно-аналитического аппарата получения новых научных знаний об изучаемом природном объекте.

Среди множества физических механизмов, определяющих перенос субстанции в естественно-природных пористых средах (почва, снег), биоконвекция является одним из самых сложных и малоизученных. Проблема гидродинамического описания биоконвекции, генерируемой перемещением микроорганизмов, обсуждена в работе Е.Ю. Щекиновой, А. Краберг, И. Буссмана, М. Боерсма, К.Х. Вилтшире (Институт им. А. Вегенера). Развитие конвекции в стратифицированной жидкости относится к числу классических задач гидродинамики, тогда как задача описания биоконвекции в почвах возникла сравнительно недавно в связи с изучением микробиологического материала на увлажненных берегах рек. Математическая постановка сформулирована на основе закона Дарси для среды с переменной пористостью. Изучается проблема чувствительности биоконвекции по отношению к градиенту плотности. Показано наличие сильной зависимости параметров конвективной ячейки от проницаемости пористой среды.

Современные средства и методы моделирования гидрологических процессов на водосборах ориентированы на описание физических механизмов, характерных для среднего климатического пояса с умеренными условиями в зимний период. Для адекватного воспроизведения специфики северных территорий при формулировании задач теплообмена требуется учет новых, ранее не изученных, но доминирующих в высоких широтах факторов и физических механизмов. Обзорный доклад В.А. Шлычкова (Институт водных и экологических проблем СО РАН) охватывает весьма широкие аспекты моделирования в гидрологии и посвящен сопоставительному анализу наиболее значимых составляющих гидрологического цикла при реализации традиционных моделей водосборов и методов, ориентированных на водосборы рек сибирского Севера. Представлен ряд результатов численного моделирования, которые иллюстрируют воспроизведение отдельных компонентов руслового стока на водосборе дельты р. Лена. Гидродинамика течения в Большой Трофимовской протоке (элемент дельты Лены) описана на основе имеющейся морфометрической информации, что делает результат привлекательным с точки зрения натуральных исследований.

При описании речных водотоков в русловых системах процессы взаимодействия потока с размываемым дном практически не поддаются строгой математической формализации в силу сложности механизмов массообмена в системе "водный поток – донный аллювий". В докладе И.И. Потапова (Вычислительный центр ДВО РАН) приводится оригинальный метод решения задачи русловых деформаций на основе фундаментальных гидродинамических представлений без введения общепринятых эмпирических зависимостей для твердого расхода. Метод апробирован на натуральных данных о динамике берегового склона участка р. Амур. Сопоставление результатов численных экспериментов с материалами наблюдений показало высокую точность модельных расчетов. Это позволяет говорить о перспективности подхода для развития и обобщения исходной концептуальной базы модели.

Задачи формирования снежного ледового и снежного покрова в водоемах относятся к числу приоритетных для условий Сибири и сибирского Севера. Для описания снежно-ледового режима соленых озер разработаны оригинальные модели на базе термодиффузионной задачи Стефана, которые представлены в докладе А.Ф. Воеводина (ИГиЛ СО РАН), Т.Б. Гранкиной (ИВЭП СО РАН). По результатам расчетов для конкретных объектов Западной Сибири проведено сравнение с данными наблюдений. Показано, что даже слабая минерализация оказывает существенное влияние на процесс образования льда. Это обусловлено тем, что при формировании ледового покрова в

минерализированном водоеме в результате образования пресного льда в воде перед фронтом кристаллизации формируется слой с повышенным содержанием химических веществ, что существенно влияет на температуру фазового перехода "вода-лед", и, тем самым, на весь процесс формирования ледового покрова.

В докладе А.В. Доманского (Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН) были представлены результаты математического моделирования движения геофлюидов при извержении грязевых вулканов. Три таких вулкана находятся на острове Сахалин. Базовая модель использует уравнения нестационарной фильтрации газа и водоглинистой среды в подводящем канале грязевого вулкана. Автором предложен метод решения обратной задачи определения глубины залегания вулкана и высоты столба запирающей водоглинистой среды при заданной проницаемости канала и известном периоде времени между двумя последовательными извержениями.

Ряд докладов, содержащих новые постановки задач и результаты их исследования, выходили за рамки официальной программы конференции, но вызвали живой интерес ее участников. Таким, в частности, был яркий по форме и содержанию доклад В.Г. Козлова, Д.А. Полежаева (Пермский ГПУ) «Вибрационные потоки и их устойчивость в центрифугированном слое». Авторы экспериментально исследовали вибрационное течение слоя жидкости во вращающемся цилиндре. Оказалось, что в этой простой геометрии возможны разнообразные формы движения и переходы между ними. Наблюдались двумерное азимутальное течение, пространственное периодическое вихревое течение и хаотическое движение. Определены физические причины и характерные параметры наблюдаемых режимов течения. Переход между режимами связан с возникновением различного типа неустойчивостей.

В докладе А.В. Проскурина (АлтГТУ) и А.М. Сагалакова (АлтГУ) проанализирована классическая задача о линейной устойчивости МГД-течения Пуазейля при произвольных магнитных числах Рейнольдса. Использовались два метода: метод коллокаций с использованием полиномов Чебышева и метод дифференциальной прогонки. Обнаружена новая ветвь неустойчивости. При определенных числах Альфвена возможно скачкообразное увеличение критических чисел Рейнольдса. Установлено, что трехмерные возмущения могут существенно расширять область неустойчивости. Полученные результаты представляют интерес для оценки критических параметров в задачах физики плазмы. Еще один доклад тех же авторов посвящен разработке численного метода решения задач устойчивости непараллельных течений в канале. В этом случае система уравнений Навье-Стокса для малых возмущений сводится к краевой задаче для системы дифференциальных уравнений с частными производными. Возмущение можно разложить в двойной ряд по полиномам Чебышева и далее для решения использовать метод коллокаций. Разработанный алгоритм может быть использован для решения разнообразных задач устойчивости в гидродинамике и в физике плазмы.

В докладе В.Г. Гасенко (ИТ СО РАН) получены точные решения задачи о стационарной тепловой конвекции в вертикальном канале полукруглого сечения с изотермическими или адиабатическими стенками.

Доклад Б.В. Левина (Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН), Е.В. Сасоровой (Институт океанологии РАН) и А.В. Доманского (ИМГТ ДВО РАН) «О возможном вкладе вращения Земли в геодинамику» имел целью представить модель, описывающую развитие двух симметричных относительно экватора зон гидродинамической неустойчивости в средних широтах планеты, обусловленных ее вращением, и показать проявление этой неустойчивости на материалах последних геофизических наблюдений.

В докладе Р.И. Мулляджанова, Н.И. Яворского (ИТ СО РАН) исследована устойчивость затопленной струи вязкой несжимаемой жидкости относительно возмущений поля скорости конического класса, которые соответствуют дальнему полю струйного течения. Показано, что в такой постановке собственные функции эволюции возмущений во времени носят характер гипергеометрических функций, поведение которых существенно отличается от экспоненциального. Установлено, что струя является устойчивой по отношению к указанным возмущениям при всех числах Рейнольдса. Этот результат находится в согласии с последними экспериментальными данными, но противоречит ряду предыдущих теоретических исследований данной задачи.

Новые результаты в теории вырождающихся параболических уравнений представлены в докладе С.И. Шмарева (Университет Овьедо, Испания) и С.Н. Антонцева (Университет Лиссабона, Португалия). Еще 60 лет назад Я.Б. Зельдович и А.С. Компанец обнаружили эффект распространения конечной скорости распространения возмущений по нулевому фону в уравнении нелинейной теплопроводности. Теория пространственной и временной локализации решений вырождающихся уравнений параболического типа в настоящее время получила широкое развитие, в том числе и в трудах авторов доклада. Однако для уравнений, обладающих свойством изотропности, обеспечить конечность носителя решения как в пространстве, так и во времени, не удастся. В докладе показано, что для анизотропных квазилинейных параболических уравнений с нестандартными условиями роста коэффициентов пространственно-временная локализация решения возможна.

А.Ф. Воеводин (ИГиЛ СО РАН) и О.Н. Гончарова (АлтГУ) в докладе «Метод расчета задач конвекции на основе расщепления по физическим процессам» реализовали подход, основанный на последовательном решении уравнения конвекции и диффузии. Идея метода расщепления по физическим процессам восходит к работам Н.Н. Яненко. Созданный авторами доклада численный алгоритм дает возможность точно выполнять условия прилипания на твердых стенках и гарантировать соленидальность поля скоростей и его энергетическую нейтральность. Введение переменных «ротор скорости – векторный потенциал скорости» позволяет эффективно решать трехмерные задачи тепловой гравитационной конвекции в замкнутых областях.

Подводя итог сказанному, можно констатировать актуальность проблем, обсуждавшихся на конференции. Об этом говорит большое число научных организаций, приславших на нее своих представителей, а также значительное количество докладов, подготовленных российскими участниками совместно с зарубежными коллегами. Большинство докладов содержало еще не опубликованные результаты. Оргкомитет не планировал издание трудов конференции, но каждый из участников получил компакт-диск, в котором среди прочей информации содержались презентации всех докладов, сделанных на конференции. Высокий уровень докладов свидетельствует об обеспеченности данного научного направления оборудованием и квалифицированными кадрами, в том числе и молодыми. В заключение отметим, что более трети работ, доложенных на конференции российскими участниками, выполнено при поддержке РФФИ.