

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

О Т Ч Ё Т

Института вычислительной математики
о научной и научно-организационной
деятельности в 2002 году

Москва — 2003

©ИВМ РАН, 2003

Содержание

	Стр.
1. Результаты фундаментальных и прикладных исследований ИВМ РАН, имеющие первостепенное значение	3
2. Крупные результаты научных исследований ИВМ РАН	5
3. Результаты исследований по актуальным направлениям, полученные сотрудниками ИВМ РАН	10
4. Премии и награды, полученные сотрудниками ИВМ РАН в 2002 году	21
5. Международные научные связи	21
6. Издательская деятельность	24
7. Научно-организационная деятельность ИВМ РАН	24
8. Публикации сотрудников в 2002 году	27
9. Участие сотрудников ИВМ РАН в конференциях	38
10. Тезисы научных докладов на отчётной сессии 2002 года	45

1. Результаты фундаментальных и прикладных исследований ИВМ РАН, имеющие первостепенное значение

В 2002 году в Институте вычислительной математики РАН получены следующие результаты первостепенной важности, определяющие развитие вычислительной математики и математической геофизики в мировом масштабе. Эти результаты рекомендованы Ученым советом ИВМ РАН (на заседании 9 декабря 2002 года, протокол № 23) к включению в список лучших работ Российской академии наук 2002 года.

1.1. В области вычислительной математики

Завершено формирование и исследование математических основ параллельных вычислений.

Аннотация

В процессе исследований были обнаружены многочисленные связи параллельных вычислений с другими областями знаний, в первую очередь с алгоритмами и описывающими их программами. Это привело к созданию новой теории, получившей название информационной структуры алгоритмов и программ. С её помощью удалось решить многие проблемы, касающиеся собственно параллельных вычислений: выявление параллельных ветвей вычислений, организация распределённых вычислений, построение математических моделей спецпроцессоров, в частности систолических массивов, и др. Удалось также показать связь параллельных вычислений с рядом математических задач, далёких от какого-либо параллелизма. К ним относятся оценивание влияния ошибок округления, быстрое вычисление значения градиента в точке, восстановление линейного функционала и т.п.

Различные аспекты параллельных вычислений изложены в книге: В.В.Воеводин, Вл.В.Воеводин. "Параллельные вычисления"(Изд-во БХВ-Петербург, 608 с., 2002, 3000 экз.).

Научный руководитель работ — гл.н.с., академик Воеводин В.В.

1.2. В области математического моделирования

Создана математическая модель климатической системы на основе глобальных моделей общей циркуляции атмосферы и Мирового океана. Результаты моделирования современного климата показали, что модель находится на уровне лучших современных моделей такого типа. Проведены численные эксперименты по оценке изменений климата в 21 столетии при заданном сценарии изменения концентрации углекислого газа в атмосфере.

Аннотация

Создана новая версия атмосферного блока модели общей циркуляции атмосферы и океана. Новыми являются конечно-разностная схема решения уравнений гидротермодинамики, блок горизонтальной диффузии, а также учет зависимости радиуса капель от температуры. С новой версией модели проведены численные эксперименты на 80 лет по моделированию современного климата и климата при увеличении содержания углекислого газа. По сравнению с предшествующей версией модели улучшилось воспроизведение температуры поверхности и температуры атмосферы, амплитуды изменчивости в средних широтах, статистика Эль-Ниньо. Среднегодовая ошибка воспроизведения ТПО на большей части тропиков и умеренных широт, а также ошибка воспроизведения зонально-осреднённой температуры воздуха на большей части тропосферы не превышают 2-х градусов. Повышение средней температуры поверхности при удвоении CO_2 составляет 1 градус, что в 1.7 раза меньше, чем в среднем по моделям. Динамический отклик близок к среднему по моделям. Значительный вклад в динамический отклик вносит изменение индекса арктической осцилляции.

Научный руководитель работ — гл.н.с., академик Дымников В.П.

2. Крупные результаты научных исследований ИВМ РАН

2.1. В области вычислительной математики

Завершено формирование и исследование математических основ параллельных вычислений.

Аннотация

В процессе исследований были обнаружены многочисленные связи параллельных вычислений с другими областями знаний, в первую очередь с алгоритмами и описывающими их программами. Это привело к созданию новой теории, получившей название информационной структуры алгоритмов и программ. С её помощью удалось решить многие проблемы, касающиеся собственно параллельных вычислений: выявление параллельных ветвей вычислений, организация распределённых вычислений, построение математических моделей спецпроцессоров, в частности систолических массивов, и др. Удалось также показать связь параллельных вычислений с рядом математических задач, далёких от какого-либо параллелизма. К ним относятся оценивание влияния ошибок округления, быстрое вычисление значения градиента в точке, восстановление линейного функционала и т.п.

Различные аспекты параллельных вычислений изложены в книге: В.В.Воеводин, Вл.В.Воеводин. "Параллельные вычисления" (Изд-во БХВ-Петербург, 608 с., 2002, 3000 экз.).

Научный руководитель работы — гл.н.с., академик Воеводин В.В.

Получены теоремы существования матричных аппроксимаций малого тензорного ранга для матриц, ассоциированных с асимптотически гладкими функциями, и эффективные алгоритмы их построения, использующие относительно малую часть строк и столбцов исходной матрицы. Разработан метод решения систем линейных алгебраических уравнений с большими плотными матрицами.

Аннотация

Получены теоремы существования матричных аппроксимаций малого тензорного ранга для матриц, ассоциированных с асимптотически гладкими функциями, и эффективные алгоритмы их построения, использующие относительно малую часть строк и столбцов исходной матрицы. Разработан метод решения систем линейных алгебраических уравнений с большими плотными матрицами (на основе тензорных аппроксимаций, дискретного вейвлет-преобразования и неполного треугольного разложения), позволивший решать системы с числом неизвестных более 1 миллиона за 30–40 минут на персональном компьютере с оперативной памятью 1 гигабайт.

Научный руководитель работ — в.н.с., д.ф.-м.н. Тыртышников Е.Е.

Получены четыре представления универсальной накрывающей одного пространства модулей и доказана их эквивалентность.

Аннотация

Исследование свойств и численная реализация чебышевского представления для экстремальных многочленов требуют рассмотрения пространства вещественных гиперэллиптических кривых. Это пространство для фиксированного рода g состоит из нескольких компонент, различающихся другим топологическим инвариантом — количеством k ковещественных овалов на кривой. Мы будем обозначать эти компоненты \mathcal{H}_g^k . Большинство из них неодносвязны, поэтому удобнее перейти к их универсальным накрывающим $\tilde{\mathcal{H}}_g^k$. На предмет исследования полезно взглянуть с разных сторон, поэтому рассматриваются четыре определения этого пространства и показана их эквивалентность. Стандартным является определение $\tilde{\mathcal{H}}_g^k$ как пространства дивизоров ветвления кривой данного топологического типа вместе с историей их движения от выделенного дивизора. Считая дивизор движущимся в вязкой среде и увлекающим за собой частицы этой среды, приходим к пространству Тайхмюллера проколотого диска с отмеченными точками на границе — гибкому техническому средству, устанавливающему связь между различными точками зрения на предмет. Деформационные пространства специальных клейновых групп дают глобальные

координаты в исследуемом пространстве и эффективное построение аналитических объектов. Пространства лабиринтов, наиболее наглядные из всех, позволят вычислить образ отображения периодов, задаваемого $\tilde{\mathcal{H}}_g^k$ левой частью уравнений Абеля.

Научный руководитель работ — гл.н.с., д.ф.-м.н. Лебедев В.И.

Получены новые оценки матрицы Грина для системы обыкновенных дифференциальных уравнений, значительно более точные известных ранее.

Аннотация

Для системы обыкновенных линейных дифференциальных уравнений вида $du/dt = Au + f(t)$, $-\infty < t < \infty$, получены верхние оценки нормы матрицы Грина через интегральный критерий качества дихотомии спектра матрицы A мнимой осью и через вещественные границы её хаусдорфова множества. Эти оценки значительно точнее известных ранее, особенно в случае, когда A — конечномерный аналог неограниченного оператора, полуограниченного сверху или снизу, и легко реализуются в рамках стандартных вычислительных технологий, основанных на разложении Шура.

Научный руководитель работ — в.н.с., д.ф.-м.н. Нечепуренко Ю.М.

2.2. В области математического моделирования

Создана математическая модель климатической системы на основе глобальных моделей общей циркуляции атмосферы и Мирового океана. Результаты моделирования современного климата показали, что модель находится на уровне лучших современных моделей такого типа. Проведены численные эксперименты по оценке изменений климата в 21 столетии при заданном сценарии изменения концентрации углекислого газа в атмосфере.

Аннотация

Создана новая версия атмосферного блока модели общей циркуляции атмосферы и океана. Новыми являются конечно-разностная схема решения уравнений гидротермодинамики, блок горизонтальной диффузии, а также учет зависимости радиуса капель от температуры. С новой версией модели проведены численные эксперименты на 80 лет по моделированию современного климата и климата при увеличении содержания углекислого газа. По сравнению с предшествующей версией модели улучшилось воспроизведение температуры поверхности и температуры атмосферы, амплитуды изменчивости в средних широтах, статистика Эль-Ниньо. Среднегодовая ошибка воспроизведения ТПО на большей части тропиков и умеренных широт, а также ошибка воспроизведения зонально-осреднённой температуры воздуха на большей части тропосферы не превышают 2-х градусов. Повышение средней температуры поверхности при удвоении CO_2 составляет 1 градус, что в 1.7 раза меньше, чем в среднем по моделям. Динамический отклик близок к среднему по моделям. Значительный вклад в динамический отклик вносит изменение индекса арктической осцилляции.

Научный руководитель работ — гл.н.с., академик Дымников В.П.

На основе разработанных эффективных вычислительных алгоритмов проведено моделирование климатической циркуляции Мирового океана и изучены условия формирования её множественных равновесных состояний.

Аннотация

С помощью серии численных экспериментов рассчитаны установившиеся по времени режимы глобальной термохалинной циркуляции при идентичном внешнем воздействии на поверхности океана и различных начальных условиях для температуры и солёности. Установлена зависимость равновесной глобальной циркуляции океана от начальных полей. Исследованы условия формирования множественных равновесных режимов и их чувствительность к пространственной структуре начальных полей температуры и солёности. Установлено, что:

- основным механизмом, вызывающим наличие разных равновесных режимов при идентичном внешнем воздействии, является нелинейный процесс глубокой конвекции;

- важнейшими параметрами, определяющими индивидуальность равновесного режима, являются глобальные средние значения запасов тепла и соли.

Научный руководитель работ — в.н.с., д.ф.-м.н. Залесный В.Б.

Исследованы процессы взаимодействия газовых примесей с аэрозольными частицами в средних и высоких широтах атмосферы.

Аннотация

С помощью численной модели глобального переноса трансформирующихся газовых примесей и аэрозолей проводились численные эксперименты по изучению скорости образования сульфатных частиц в различных температурных режимах. Оценка вклада различных механизмов образования сульфата в зависимости от условий окружающей среды проводилась путём вариации начальных концентраций газов и температуры, а также в зависимости от размеров частиц. Показано, что если кинетика раствора быстрее кинетики газовой фазы, то скорость изменения состава аэрозольных частиц будет определяться количеством достигающего его газа. В противном случае количество газа, попадающего в раствор, определяется скоростью изменения состава аэрозольных частиц. Для учёта взаимодействия газовых примесей с жидкими и твёрдыми частицами разработана новая гидродинамическая численная модель конвективной облачности. Модель содержит детальное описание микрофизических процессов в жидкой и ледяной фазах на базе кинетических уравнений.

Научный руководитель работ — в.н.с., д.ф.-м.н. Алоян А.Е.

Предложен энергетический функционал, позволяющий оценить эффективность работы системы противоифекционной защиты. Построена индивидуально-ориентированная иммуноэпидемиологическая модель, связывающая эффективность противоифекционной защиты и приспособленность индивидов. Исследована зависимость параметров противоифекционной защиты от свойств патогена и внешней среды.

Аннотация

Предложен метод количественной оценки энергетической цены основных процессов противoinфекционной защиты организма. Сформулирован энергетический критерий оптимальности функционирования защитных систем. Задача оценки параметров иммунной защиты организма поставлена как задача минимизации энергетических затрат на взаимодействие с патогеном. Исследована зависимость величин параметров модели, соответствующих минимальному расходу энергии на противoinфекционную защиту, от свойств патогена и внешней среды. Построена иммуноэпидемиологическая модель, связывающая эффективность противoinфекционной защиты и приспособленность индивидов. Промоделирован процесс адаптации иммунной системы к заданному патогену.

Научный руководитель работ — в.н.с., д.ф.-м.н. Романюха А.А.

3. Результаты исследований по актуальным направлениям, полученные сотрудниками ИВМ РАН

В 2002 году в ИВМ РАН проводились исследования по актуальным направлениям вычислительной математики, математического моделирования и их приложениям.

В области вычислительной математики получены следующие результаты.

Тема "Оптимальные методы в задачах вычислительной математики"

Развита теория ЧМБС-многочленов. Разработаны явные устойчивые разностные схемы для трехмерных задач гидродинамики с теплопереносом по расчету реакторов типа ВВЭР (д.ф.-м.н. Лебедев В.И.)

Произведено численно-асимптотическое исследование распространения длинных волн в однородном по длине стержне. Численные эксперименты проведены для стержня с квадратным сечением, составленного из четырех однородных стержней с квадратным сечением.

Исследован вид дисперсионных матриц в зависимости от свойств анизотропии составляющих стержней и свойств симметрии сечения (академик Бахвалов Н.С.).

Предложен новый метод вычисления инвариантных подпространств — метод Ньютона-Канторовича. Для конечномерных аналогов операторов в частных производных скорость сходимости этого метода не зависит от шага сетки (д.ф.-м.н. Нечепуренко Ю.М. совместно с С.К.Годуновым и М.Садкане).

Получены оценки скорости сходимости метода Ньютона-Канторовича, основанные на интегральных критериях качества дихотомии и позволяющие для конечномерных аналогов операторов в частных производных связать скорость сходимости метода со свойствами исходного оператора, которые изучает спектральная теория дифференциальных операторов. Проведена серия численных экспериментов, иллюстрирующих теоретические оценки (д.ф.-м.н. Нечепуренко Ю.М. совместно с М.Садкане).

Был предложен новый подход к регуляризации задач с седловой точкой и обоснован трехпараметрический алгоритм их решения. Получены явные формулы оптимальных итерационных параметров и параметра регуляризации, зависящие от априорной информации спектральной эквивалентности входящих операторов (д.ф.-м.н. Чижонков Е.В.)

Исследованы топологические и аналитические свойства пространств модулей гиперэллиптических кривых, возникающих при описании экстремальных многочленов общего вида. Предложены четыре различных представления для универсальной накрывающей таких пространств (к.ф.-м.н. Богатырев А.Б.).

Построены многочлены, линии уровня которых хорошо аппроксимируют прямоугольник, треугольник, невыпуклые и другие области плоскости комплексного переменного, возникающие при исследовании спектров (псевдоспектров, спектральных портретов) операторов в задачах математической физики (Клячин В.А.).

Тема "Создание программной среды для исследования информационных свойств программ и алгоритмов"

Завершено формирование и исследование фундаментальных основ параллельных вычислений; завершено создание электронной энциклопедии по линейной алгебре "Линеал" (академик Воеводин В.В. совместно с Вл.В.Воеводиным).

Исследованы два крупных программных комплекса на предмет их адаптации на вычислительных системах кластерного типа с помощью разработанных ранее методик полуавтоматизированных средств исследования структур (к.ф.-м.н. Фролов А.В.)

Тема "Матричные методы и интегральные уравнения"

Получены теоремы существования матричных аппроксимаций малого тензорного ранга для матриц, ассоциированных с асимптотически гладкими функциями.

Разработаны эффективные алгебраические алгоритмы построения матричных аппроксимаций малого тензорного ранга, основанные на неполной крестовой аппроксимации матриц, полученных из заданных матриц с помощью специальной перестановки элементов.

Разработан метод решения систем линейных алгебраических уравнений с большими плотными матрицами на основе тензорных аппроксимаций, дискретного вейвлет-преобразования и неполного треугольного разложения (д.ф.-м.н. Тыртышников Е.Е.).

Получены новые оценки сходимости метода GMRES для матриц, спектр которых лежит в области с границей — кривой ограниченного вращения. В частном случае (область — сегмент круга) этот результат улучшает известную оценку Элмана (д.ф.-м.н. Тыртышников Е.Е. совместно с к.ф.-м.н. Горейновым С.А. и Б.Беккерманом).

Изучены вопросы численного решения системы алгебраических уравнений, полученной неконформным методом конечных элементов для многокомпонентной задачи Пуассона с граничными условиями I и II рода (к.ф.-м.н. Чугунов В.Н.).

Разработан общий подход к понятию суммирования расходящихся интегралов с произвольной степенной особенностью в заданной точке в одномерном и многомерном случаях. Доказана формула замены переменных в таких интегралах (д.ф.-м.н. Лифанов И.К.).

Разработан метод численного решения пространственных задач фильтрации с новой пространственной моделью фильтров скважин (д.ф.-м.н. Лифанов И.К., Ставцев С.Л.).

Тема "Разработка эффективных численных методов решения эллиптических задач и уравнений Навье-Стокса"

Для нестационарной системы уравнений Навье-Стокса исследована скорость сходимости предложенной ранее симметричной параболической аппроксимации, основанной на методе искусственной сжимаемости (д.ф.-м.н. Кобельков Г.М.).

Разработан эффективный алгоритм решения жестких анизотропных эллиптических задач с большими параметрами. Скорость сходимости алгоритма не зависит от разброса параметров, анизотропии задачи и параметра дискретизации (к.ф.-м.н. Богачев К.Ю.).

Разработаны новые итерационные параллельные технологии решения линейных систем, возникающих при полностью неявном моделировании многокомпонентных течений в пористых средах (к.ф.-м.н. Василевский Ю.В.).

Тема "Сопряженные уравнения и методы теории управления в нелинейных задачах математической физики"

Исследован подкласс обратных задач и задач управления для стационарной системы Стокса, возмущенной линейным кососимметрическим оператором; разработаны итерационные методы решения задач, базирующиеся на теории оптимального управления и теории прямых и сопряженных уравнений (д.ф.-м.н. Агошков В.И.).

Исследована линеаризованная задача о восстановлении локальной (по времени) функции источника в кинетическом уравнении коагуляции-дробления; разработаны методы численного решения задачи (д.ф.-м.н. Агошков В.И., д.ф.-м.н. Дубовский П.Б.).

Исследовано влияние погрешностей данных наблюдений на оптимальные решения нелинейных эволюционных задач об усвоении данных на основе метода сопряженных уравнений второго порядка. Получено уравнение для ошибки оптимального решения через ошибки входных данных. Исследована разрешимость уравнения для ошибки в специальных функциональных пространствах. Получены формулы для вычисления коэффициентов чувствительности решения к ошибкам наблюдений с использованием фундаментальных функций управления (д.ф.-м.н. Шутяев В.П.).

Исследована разрешимость и разработаны итерационные алгоритмы решения квазилинейных эволюционных задач об усвоении данных с целью восстановления начальных условий на основе спектральных свойств операторов управления (академик Марчук Г.И., д.ф.-м.н. Шутяев В.П.).

Доказаны теоремы (локальная и в целом) существования, единственности и устойчивости решения для бесконечной пространственно-неоднородной системы кинетических уравнений Беккера-Деринга с учетом конвекции и диффузии (д.ф.-м.н. Дубовский П.Б.).

В области математического моделирования физических процессов получены следующие результаты.

Тема "Разработка глобальных моделей климата и создание научной основы для изучения предсказуемости его изменений"

Построен оператор отклика модели общей циркуляции атмосферы (NCAR) на малые внешние воздействия на основе флуктуационно-релаксационного соотношения. Была проведена серия численных экспериментов по расчету отклика модели на термические источники в экваториальной, субтропической областях и в области средних широт (порядка 300 экспериментов). Было по-

казано, что восстановление отклика с помощью построенного оператора дает удовлетворительные результаты (коэффициент корреляции между "реальным" откликом и восстановленным порядка 0.7). Была также решена обратная задача о восстановлении источника, приводящего к заданным изменениям циркуляции атмосферы. Результаты решения этой задачи также можно считать удовлетворительными (академик Дымников В.П. совместно с Грицуном А.С. и G.Branstator(США)).

Получены условия применимости флуктуационно-релаксационных соотношений для динамико-стохастических уравнений с периодически зависящими от времени коэффициентами (условия получения циклоstationарных флуктуационно-релаксационных соотношений). Для нелинейных диссипативных динамико-стохастических уравнений было получено общее выражение релаксационно-флуктуационного соотношения при условии, что стохастический форсинг в правой части системы является δ -коррелированным по времени и пространству гауссовым случайным процессом.

На основе техники сопряженных уравнений был предложен метод построения разностных схем для нелинейных уравнений математической физики, обладающих разностными аналогами интегральных законов сохранения, присутствующих исходным дифференциальным уравнениям. Показано, что уравнение в вариациях, построенное для нелинейных систем с квадратичной нелинейностью, является сопряженным к нему в смысле Лагранжа, если при построении сопряженного уравнения использовать тривиальные операторы (академик Дымников В.П.).

Разработанный ранее метод вычисления приближенного оператора отклика среднего состояния системы на малые внешние воздействия (основанный на использовании флуктуационно-диссипационных соотношениях) реализован для модели общей циркуляции атмосферы ИВМ РАН (21 уровень по вертикали, пространственное разрешение 4 на 5 градусов) (к.ф.-м.н. Грицун А.С.).

Получены условия существования устойчивого многообразия в окрестности стационарной негиперболической точки.

Предложен алгоритм получения численных оценок для функции скорости притяжения к аттрактору (к.ф.-м.н. Корнев А.А.).

Разработан метод построения оператора отклика на малые внешние воздействия динамической системы со случайной правой частью (к.ф.-м.н. Ноаров А.И.)

Создана новая версия атмосферного блока модели общей циркуляции атмосферы и океана. Новыми являются конечно-разностная схема решения уравнений гидротермодинамики, блок горизонтальной диффузии, а также учет зависимости радиуса капель от температуры. С новой версией модели проведены численные эксперименты на 80 лет по моделированию современного климата и климата при увеличении содержания углекислого газа. По сравнению с предыдущей версией модели улучшилось воспроизведение температуры поверхности и температуры атмосферы, амплитуды изменчивости в средних широтах, статистика Эль-Ниньо (д.ф.-м.н. Володин Е.М.).

Усовершенствована климатическая модель ИВМ РАН с точки зрения согласия полей изменчивости озона (ОСО) с наблюдаемыми полями, увеличения изменчивости турбулентных потоков (к.ф.-м.н. Галин В.Я.).

Реализована новая версия модели общей циркуляции океана с возможностью произвольного расположения полюсов и с дискретизацией на сетке "С", позволяющей точнее описывать условия на боковых границах и обладающей меньшей диссипативностью (к.ф.-м.н. Дианский Н.А.).

Обработаны результаты 80-летних экспериментов с совместной моделью общей циркуляции атмосферы и океана ИВМ РАН. Изучен отклик совместной модели на увеличение содержания CO_2 в атмосфере (д.ф.-м.н. Володин Е.М., к.ф.-м.н. Дианский Н.А.).

Для совместной модели климата, состоящей из атмосферной и океанской частей, реализована улучшенная параметризация морского ледового покрова (к.ф.-м.н. Багно А.В.).

Построена статистическая модель для восстановления поля аномалий среднесуточных значений приземной температуры на сети метеостанций г.Москвы по их осредненным значениям на масштабах порядка 30 км.

Проведены численные эксперименты с различными типами входных данных (д.ф.-м.н. Чавро А.И., к.ф.-м.н. Дмитриев Е.В.).

Предложен новый метод оптимального планирования экспериментов, использованный в вышеописанной статистической модели. Метод основан на выделении некоррелированных частей для компонент входного вектора статистической модели и оценке их информативности к искомому решению задачи. Такой подход позволяет при заданной точности решения обратной задачи выделить оптимальный набор наиболее информативных измеряемых (или моделируемых) характеристик в качестве координат входного вектора (д.ф.-м.н. Чавро, к.ф.-м.н. Дмитриев Е.В.).

Тема "Разработка экспертной системы для оценки региональных последствий глобальных изменений климата"

Разработаны негидростатические трехмерные модели верхнего слоя океана и пограничного слоя атмосферы, способные воспроизводить крупномасштабные (сравнимые с толщиной перемешанных слоев) вихревые структуры, обусловленные как термической конвекцией, так и напряжением трения ветра на поверхности океана. Проведен ряд численных экспериментов с полученными моделями, с помощью которых воспроизведены движения, подобные наблюдаемым в природе вихрям (в атмосфере и океане) (чл.-корр.РАН Лыкосов В.Н., к.ф.-м.н. Глазунов А.В.).

Разработана параллельная версия вихреразрешающей модели пограничного слоя атмосферы (к.ф.-м.н. Глазунов А.В.).

Осуществлено развитие трехмерной глобальной полулагранжевой модели общей циркуляции атмосферы. Совместно с сотрудниками Гидрометцентра РФ отлажена технология квазиоперативного счета модели. В рамках прототипа трехмерной модели, основанного на уравнениях мелкой воды на сфере, разработана конфигурация модели с переменным разрешением по широте (к.ф.-м.н. Толстых М.А.).

Тема "Исследование крупно- и мезомасштабной динамики вод Мирового океана и окраинных морей России на основе моделирования и анализа данных наблюдений"

Предложен новый метод моделирования физических характеристик океана путем учета адвекции характеристик турбулентных пульсаций сеточного масштаба (ТПСМ). Расчеты проведены на примере Северной Атлантики (академик Саркисян А.С.).

Завершена работа по разработке модели гидродинамики внутреннего моря и исследованию сезонной изменчивости циркуляции и уровня вод Каспийского моря (д.ф.-м.н. Ибраев Р.А.).

Реализована новая версия численной модели совместной циркуляции Северного Ледовитого океана и морского льда, настроенной на среднесуточный атмосферный форсинг (к.ф.-м.н. Яковлев Н.Г.)

Тема "Исследование роли Мирового океана в процессах глобальных изменений"

Изучена чувствительность океанских характеристик к изменениям внешнего воздействия, вариации коэффициента трения и структуре начальных полей температуры и солености. Установлено, что важнейшими параметрами, определяющими равновесный режим океана, являются глобальные средние значения запасов тепла и соли.

На основе численного моделирования рассмотрена задача о реакции экваториального океана к аномалиям солености на поверхности в Южном океане. Проведена серия численных экспериментов с различным сеточным разрешением, рельефом дна и разными характеристиками внешнего воздействия (д.ф.-м.н. Залесный В.Б.).

Проведена адаптация программного комплекса $(k - \varepsilon)$ -модели турбулентности к модели циркуляции Арктики.

Проведен диагноз и моделирование современных короткопериодных изменений климата Северной Атлантики. Показана кинематика распространения долгопериодных теплых и холодных аномалий температуры воды в деятельном

слое по акватории Северной Атлантики и их связь с полем скоростей (д.ф.-м.н. Мошонкин С.Н.)

Реализована модель морских течений для акватории Охотского моря, основанная на полной нелинейной системе уравнений в сферической σ -системе координат (д.ф.-м.н. Залесный В.Б., Конторовский С.Э.).

Тема "Численное моделирование динамики и кинетики газовых примесей и аэрозолей в атмосфере. Применение моделей к Арктическому региону"

Для исследования изменчивости газового и аэрозольного состояния Арктического региона разработана численная модель взаимодействия газ – частица.

Исследована пространственно-временная изменчивость концентрации озона в нижней тропосфере в региональном масштабе (д.ф.-м.н. Алоян А.Е.).

Разработана численная модель переноса и фотохимической трансформации атмосферных примесей в нижней тропосфере с использованием методики вложения сеток, когда граничные условия для малой области определяются из решения задачи в большей области (к.ф.-м.н. Арутюнян В.О.).

Проведена серия численных экспериментов по моделированию формирования кучевой облачности. Исследована пространственно-временная изменчивость водности в формирующемся облаке, а также зависимость процессов облакообразования от спектра ядер конденсации в окружающей атмосфере (д.ф.-м.н. Алоян А.Е., Лузан П.И.).

Тема "Определение объема биомассы растительного покрова по данным аэрокосмического мониторинга"

Разработаны модели описания эволюции биосферы по данным наблюдаемых изменений почвенно-растительного покрова из космоса при анализе временных рядов соответствующих изображений.

На примере обработки многоспектральных изображений высокого пространственного разрешения показаны возможности количественной оценки величины

зеленой фитомассы лесной растительности для выбранной тестовой территории наземных обследований (д.ф.-м.н. Козодеров В.В.).

Для повышения точности восстановления параметров состояния лесной растительности в методе аэрокосмического многоканального зондирования в оптической области спектра изучено влияние систематических ошибок (между измерительными данными многоканального дистанционного зондирования и их расчетными значениями) на результаты восстановления указанных параметров (к.ф.-м.н. Косолапов В.С.).

Осуществлено тестирование отдельных блоков региональной модели распространения многокомпонентной примеси с учетом взаимодействия компонент, кинетики конденсации парообразных компонент и типичной слоистой облачности в σ -системе координат от источников двуокиси серы и окислов азота для Европейского региона (к.ф.-м.н. Егоров В.Д.).

Тема "Математическое моделирование процесса противoinфекционной защиты: энергетика и адаптация"

Исследована математическая модель старения системы иммунитета, описана зависимость константы скорости иммунной реакции от возрастных изменений иммунитета и факторов внешней среды. Изучены возрастные закономерности воспалительных реакций и их роль в адаптации и поддержании гомеостаза (д.ф.-м.н. Романюха А.А.).

Построена компартментная модель иммунного ответа и показано, что популяционная динамика цитотоксических и антигенпрезентирующих клеток соответствует схеме "хищник-жертва".

Путем бифуркационного анализа модели вирусного гепатита идентифицированы области в пространстве кинетических параметров вирусов и клеток иммунной системы, соответствующие стандартным и периодическим режимам хронической инфекции со "сверхмалой" численностью вирусов (д.ф.-м.н. Бочаров Г.А.).

На основе модели противoinфекционной защиты исследована зависимость оптимальных значений параметров и соответствующих им расходов энергии от свойств внешней среды (Каркач А.С.).

4. Премии и награды, полученные сотрудниками ИВМ РАН в 2002 году

1. Золотая медаль имени П.Л.Чебышева Российской академии наук присуждена Лебедеву Вячеславу Ивановичу за выдающиеся результаты в области математики (цикл работ "Оптимальные алгоритмы и экстремальные многочлены").

2. Премия Правительства Российской Федерации в области науки и техники 2002 года присуждена за работу "Разработка и внедрение методов и технологий аэрокосмического мониторинга природной среды" авторскому коллективу, в составе которого Козодеров Владимир Васильевич.

3. Медаль Российской академии наук для молодых ученых РАН в области океанологии, физики атмосферы и географии присуждена Грицуну Андрею Сергеевичу за цикл работ "Чувствительность атмосферной циркуляции к малым внешним воздействиям".

4. Лауреатами грантов в области математики и механики по программе "Выдающиеся ученые, молодые доктора и кандидаты наук" Благотворительного фонда содействия отечественной науке (учредители: РАН, "Сибнефть", "Русский алюминий") стали: Тыртышников Евгений Евгеньевич, Володин Евгений Михайлович, Богатырёв Андрей Борисович.

5. Премия ИВМ РАН имени Александра Соколова присуждена студенту базовой кафедры математического моделирования физических процессов МФТИ Савостьянову Д.В. за успехи в области параллельных вычислений, а также в деле обучения студентов и школьников.

5. Международные научные связи

5.1. Двусторонние договоры

ИВМ имел два двусторонних договора о международном сотрудничестве с Болгарской академией наук:

— Институт океанологии, г.Варна. Тема: "Исследование внутригодовой изменчивости циркуляции вод Черного моря синоптических пространственных масштабов с применением модели гидродинамики внутренних морей" (рук. акад. Саркисян А.С.);

— Институт геофизики, г.София. Тема: "Численное моделирование мезомасштабного переноса газовых примесей в пограничном слое атмосферы с учетом фотохимической трансформации"(рук. д.ф.-м.н. Алоян А.Е.).

ИВМ РАН имеет двусторонние договоры о научном сотрудничестве:

— с Университетом Литтераль Опалового берега (г.Дюнкерк, Франция) по теме "Разработка методов решения обратных задач спутниковой метеорологии"(рук. д.ф.-м.н. Чавро А.И. и проф. Т.А.Хоменко),

— с Эстонским морским институтом (г.Таллинн, Эстония) по теме "Численное моделирование морских экосистем. Разработка эффективных численных методов и алгоритмов для решения гидродинамических и экологических проблем"(рук. д.ф.-м.н. Залесный В.Б. и проф. Р.Тамсалу).

ИВМ является головной организацией по выполнению Комплексной долгосрочной программы сотрудничества между Россией и Индией (международный проект Минпромнауки – код 900).

Со стороны ИВМ РАН поездок в рамках двусторонних договоров по безвалютному обмену не было.

5.2. Командирование в зарубежные страны

В 2002 году ученые ИВМ РАН активно сотрудничали со своими иностранными коллегами. В частности, состоялись 52 поездки сотрудников ИВМ РАН в зарубежные страны, в том числе:

Бельгия – 1	Турция – 2
Великобритания – 4	Тайвань – 1
Германия – 14	Финляндия – 1
Гонконг – 1	Франция – 9
Италия – 4	Швеция – 2
Китай – 1	Швейцария – 1
Канада – 1	ЮАР – 1
США – 9	

На длительные командировки – 2 месяца и более – приходится 3 командировки.

Финансирование поездок:

1. Большая часть поездок осуществлялась полностью за счет принимающей стороны или с частичной оплатой.

2. В рамках федеральной целевой программы "Мировой океан" были профинансированы полностью или частично 9 командировок.

3. В ряде случаев командировочные расходы (как правило, стоимость билетов) частично покрывались за счет грантов РФФИ и Минпромнауки.

4. Пять поездок полностью или частично были оплачены Франко-Русским математическим центром им.А.М.Ляпунова.

5.3. Посещение ИВМ РАН иностранными учеными

В 2002 г. ИВМ РАН принял 23 иностранных ученых, в том числе:

Азербайджан – 1	США – 6
Болгария – 1	Турция – 1
Великобритания – 1	Украина – 1
Германия – 4	Франция – 2
Дания – 2	Эстония – 1
Италия – 2	
Казахстан – 1	

Среди них в рамках безвалютного обмена — 1 (Болгария).

Три месяца в ИВМ РАН работал в качестве приглашенного профессора профессор Копенгагенского университета Дж.Р.Бэйтс (J.R.Bates).

В течение 2002 года было проведено три международных семинара "International Seminar on Matrix and Operator Equations" (рук. д.ф.-м.н. Тыртышников Е.Е.).

6. Издательская деятельность

В 2002 году ИВМ РАН осуществлял издательскую деятельность в соответствии с лицензией, выданной Комитетом Российской Федерации по печати 12 февраля 2001 года (серия ИД № 03991).

В 2002 году изданы 2 малотиражные монографии и 1 отчет:

1. Филатов А.Н. Теория устойчивости / Курс лекций. Объем 13 п.л., тираж 250 экз.

2. Чижонков Е.В. Релаксационные методы решения седловых задач. Объем 15,0 п.л., тираж 250 экз.

3. Отчёт ИВМ РАН о научной и научно-организационной деятельности в 2001 году. Объем 8,5 п.л., тираж 30 экз.

7. Научно-организационная деятельность ИВМ РАН

7.1. Сведения о тематике исследований

Основными направлениями научной деятельности ИВМ РАН являются: вычислительная математика, математическое моделирование и их приложения.

В рамках этих направлений была определена тематика исследований:

- фундаментальные исследования в области вычислительной математики; разработка эффективных методов решения задач математической физики, разработка теории численных методов линейной алгебры, теории сопряженных уравнений, теории параллельных вычислений;
- создание математической теории климата, численное моделирование циркуляции атмосферы и океана, построение глобальных климатических моделей;
- анализ и моделирование сложных систем (окружающая среда, экология, медицина).

7.2. План НИР ИВМ

Фактически план НИР ИВМ в 2002 году состоял из 26 проектов, в том числе 8 проектов выполнялись как задания государственных научно-технических программ Минпромнауки и Президиума РАН, 6 — как договоры с различными организациями. 15 проектов завершены в отчётном году. Все проекты прошли госрегистрацию в ВНТИЦ. ИВМ РАН имел 22 гранта РФФИ (9 — по математике, 13 — по наукам о Земле), в рамках проектов 8 молодых исполнителей (в т.ч. студенты) получили гранты индивидуальной поддержки.

ИВМ РАН имел также гранты РФФИ по поддержке 4 научных школ: академика Марчука Г.И., академика Воеводина В.В., академика Дымникова В.П., академика Саркисяна А.С., грант Президента РФ для поддержки молодых российских ученых — докторов наук (д.ф.-м.н. Дубовский П.Б.) и 18 государственных стипендий для учёных.

7.3. Научные кадры

Всего научных сотрудников — 55 (в т.ч. совместители: академик Марчук Г.И., академик Бахвалов Н.С., доктора наук Лебедев В.И., Филатов А.Н., Козодёров В.В., Кобельков Г.М., Чижонков Е.В., Лифанов И.К., кандидаты наук Богачев К.Ю., Корнев А.А., Замарашкин Н.Л.).

Среди научных сотрудников:

докторов наук — 29 (в т.ч. 6 членов РАН: академики Марчук Г.И., Бахвалов Н.С., Дымников В.П., Саркисян А.С., Воеводин В.В., чл.-корр. Лыкосов В.Н.),
кандидатов наук — 23,
научных сотрудников без степени — 3,
аспирантов — 8.

Движение кадров:

- выбыли 2 научных сотрудника;
- приняты на работу 3 научных сотрудника.

Качественное движение:

Защитили докторские диссертации: Володин Е.М., Ибраев Р.А.

Защитили кандидатские диссертации: Кострыкин С.В., Каркач А.С., Серёжников С.Ю.

7.4. Подготовка научных кадров

ИВМ имеет лицензию Госкомобразования № 24Н-0398 от 31 марта 2000 года на ведение послевузовской образовательной деятельности.

В аспирантуре на начало года было 8 человек, 1 человек отчислен из аспирантуры по окончании срока обучения. Вновь принят 1 человек. На конец года в ИВМ 8 аспирантов.

В ИВМ базируется кафедра математического моделирования физических процессов МФТИ. Практику в ИВМ проходили 40 студентов 3-6 курсов.

При ИВМ РАН действует диссертационный совет по защите диссертаций на соискание учёной степени доктора и кандидата наук. Совет Д.002.045.01 был утвержден приказом ВАКа России от 16 марта 2001 г. № 732-в по 3 специальностям: 01.01.07, 25.00.29, 05.13.01. Председатель совета — академик Г.И.Марчук, учёный секретарь — д.ф.-м.н. Г.А.Бочаров.

В 2002 году состоялись 2 защиты докторских и 4 защиты кандидатских диссертаций.

7.5. Ученый совет ИВМ

Ученый совет ИВМ утвержден решением Бюро Отделения математики РАН 12 сентября 2000 г.

В 2002 г. проведено 23 заседания Учёного совета.

На заседаниях:

- уточнялись направления научных исследований,
- утверждался план НИР, основные научные результаты,
- заслушивались и утверждались отчеты научных сотрудников за 2002 г.,
- утверждался отчёт о работе института,
- рассматривались вопросы работы аспирантуры и докторантуры,
- утверждались индивидуальные планы и темы диссертационных работ аспирантов,

- принимались решения о депонировании работ,
- принимались решения о длительных командированиях научных сотрудников,
- рассматривались вопросы о работе базовой кафедры и др.
- рассматривались вопросы премирования сотрудников и др.

8. Публикации сотрудников в 2002 году

Сотрудниками ИВМ РАН опубликованы в 2002 году 112 работ, в том числе:

- 10 монографий;
- 41 статья в центральных научных журналах России;
- 29 статей в иностранных журналах.

В 2002 году вышли из печати следующие *книги*:

1. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. — С.Петербург: БХВ-Петербург, 2002. — 608 с.
2. Агошков В.И., Дубовский П.Б., Шутяев В.П. Методы решения задач математической физики. — М.: Физматлит, 2002. — 320 с.
3. Филатов А.Н. Теория устойчивости / Курс лекций. — М.: ИВМ РАН, 2002. — 207 с.
4. Чижонков Е.В. Релаксационные методы решения седловых задач. — М.: ИВМ РАН, 2002. — 239 с.
5. Гутников В.А., Кирякин В.Ю., Лифанов И.К., Сетуха А.В. Математическое моделирование аэродинамики городской застройки. — М.: Пасьва, 2002. — 244 с.
6. Довгий С.А., Лифанов И.К. Методы решения интегральных уравнений. Теория и приложения. — Киев: Наукова думка, 2002. — 344 с.

7. Корнев А.А., Чижонков Е.В. Упражнения по численным методам. — М.: ЦПИ при мехмате МГУ, 2002. — 176 с.
8. Богачёв К.Ю. Практикум на ЭВМ. Методы приближения функций. — М.: ЦПИ при мехмате МГУ, 2002. — 200 с.
9. Богачёв К.Ю. Основы параллельных вычислений. Т 1. — М.: ЦПИ при мехмате МГУ, 2002. — 152 с.
10. Богачёв К.Ю. Основы параллельных вычислений. Т 2. — М.: ЦПИ при мехмате МГУ, 2002. — 176 с.

В 2002 году опубликованы следующие научные *статьи*:

1. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. ЛИНЕАЛ: электронная энциклопедия по линейной алгебре. Вычислительные методы и программирование, 2002, т.3.
2. Лебедев В.И. Эффективные численные методы нахождения параметров экстремальных многочленов// Международная конференция "Математические идеи П.Л.Чебышева и их приложение к современным проблемам естествознания". Тезисы докладов, Обнинск, 2002, с.10.
3. Лебедев В.И. On the regularization method for some nonstationary ill-posed problems of mathematical physics and the stable explicit schemes for their solution. Тезисы доклада на международной конференции по обратным задачам. Новосибирск, 2002.
4. Лебедев В.И., Горейнов С.А. и др. Development of program GIDR-3M: modelling of 3D hydrodynamics with heat transport for the downward flow region of the VVER reactor. Тезисы доклада на международном симпозиуме АЕР по расчетам реакторов. Болгария, Золотые пески, 2002.
5. Лебедев В.И. The extremal polynomials, the pseudo-difference operators, and the stable explicit schemes for the solution of stiff nonstationary problems of mathematical physics. Proc. ICCM, Part I, Novosibirsk, 2002, 60-63.
6. Лебедев В.И., Финогенов С.А. О построении устойчивых перестановок параметров для чебышевских итерационных методов. Часть I// Russ.. J. Num. An. Mod., 2002, v.17, No 5.

7. Bakhvalov N.S., Bourgeat A. Convergence towards the homogenized solution in case of lipschitzian boundary. *Applicable Analysis*, 2001, Vol.80, No 1-2, pp.161-175.
8. Bakhvalov N.S., Knyazev A.V., Parashkevov R.R. Extension theorems for Stokes and Lamé equations for nearly incompressible media and their applications to numerical solution of problems with highly discontinuous coefficients. *Numerical Linear algebra with Applications*. 2002, Volume 9, Issue 2, pp.115-139.
9. Бахвалов Н.С., Эглит М.Э. Исследование эффективных уравнений с дисперсией, описывающих распространение волн в стратифицированных средах и тонких пластинах. *Доклады РАН*, 2002. Т.383, № 6, 742-746.
10. Бахвалов Н.С., Богачев К.Ю., Эглит М.Э. Исследование эффективных уравнений с дисперсией, описывающих распространение волн в неоднородных тонких стержнях. *Доклады РАН*, 2002. Т.387, № 6.
11. Бахвалов Н.С., Богачев К.Ю., Эглит М.Э. Об уравнениях для дисперсии волн в стержнях, пластинах и стратифицированных средах. *Международная конференции. Обнинск, 2002. Конференция "Математические идеи П.Л.Чебышева и их приложение к современным проблемам естествознания"*. Тезисы докладов, 2002, с.11.
12. Bakhvalov N.S., Eglit M.E. Dispersion effects in the propagation of elastic waves in thin laminated plates. 12-th International Conference Mechanics of Composite Materials (MCM-2002), June 9-13, 2002, Riga, Latvia. *Book of Abstracts*, p.20.
13. Bakhvalov N.S., Bogachev K.Yu., Eglit M.E. Dispersion effects in inhomogeneous media. *International Conference of Differential and Functional Differential Equations*. Moscow, Russia, August 11-17 2002. *Abstracts*, pp.5, 6. (Moscow Aviation Institute, Steklov Institute of Mathematics, Moscow Mathematical Society, Weierstrass Institute for Applied Analysis and Stochastics).
14. Bakhvalov N.S., Bogachev K.Yu., Eglit M.E. Elastic Waves in Inhomogeneous Media and Structures. 16th International Symposium on Nonlinear Acoustics. August 19-23, 2002, Moscow State University, Russia. *Abstracts*, pp.17, 18.
15. Bakhvalov N.S., Eglit M.E. "Asymptotic Investigation of Two-Parametric Problems of Mechanics of Composite Material" 5th International Congress of Mathematical Modelling. *Book of Abstracts*, 2002. Vol. I, p.5.

16. Нечепуренко Ю.М. Оценка нормы матричной экспоненты через норму решения уравнения Ляпунова и границы хаусдорфова множества // ЖВМ и МФ, 2002. Т.42, No 2, с.131-141.
17. Нечепуренко Ю.М. Оценка нормы матрицы Грина через интегральный критерий качества дихотомии и границы хаусдорфова множества // Мат. заметки, 2002. Т.71. Вып.2, с.232-238.
18. Годунов С.К., Нечепуренко Ю.М. Оценки скорости сходимости метода Ньютона для вычисления инвариантных подпространств // ЖВМ и МФ, 2002. Т.42, No 6, с.771-779.
19. Нечепуренко Ю.М., Шишков Л.К. Об определении реактивности на основе обращенного уравнения точечной кинетики // ЖВМ и МФ, 2002. Т.42, No 42. с.1408-1412.
20. Чижонков Е.В. Об ускорении сходимости метода Ланцоша при решении алгебраических систем с седловой точкой // ЖВМ и МФ, 2002. Т.42, No 4, с.504-513.
21. Чижонков Е.В. К оптимизации методов с конструктивными седловыми операторами на верхнем слое // Математические идеи П.Л.Чебышева и их приложение к современным проблемам естествознания: Тезисы докладов международной конференции. Обнинск, Изд-во ОИАЭ, 2002, с.90-91.
22. Bychenkov Yu.V., Chizhonkov E.V. On optimization of one symmetric algorithm for saddle point problem. // ICCM-2002: Proceedings of the International Conference on Computational Mathematics. Editors: G.A.Mikhailov, V.P.Il'in, Y.M.Laevsky. Novosibirsk: ICM and MG Publisher, 2002, p.97-103.
23. Богатырёв А.Б. Эффективный подход к задачам о наименьшем уклонении // Мат. сборник, 2002, 193:12, с.21-42.
24. Tyrtysnikov E.E., Zamarashkin N.L. Toeplitz eigenvalues for Radon measures. Linear Algebra Appl., 2002, 343/344, p.345-354.
25. Тыртышников Е.Е., Чугунов В.Н. О задачах окаймления и модификации эрмитовых матриц. Матем. заметки, 2002, Т.71, вып.1, с.130-134.
26. Tyrtysnikov E.E., Zamarashkin N.L. A general equidistribution theorem on the roots of orthogonal polynomial. Linear Algebra Appl., 2002.

27. Tyrtysnikov E.E., Vassilevski Yu.V. A mosaic preconditioner for a dual Schur complement. Proceedings of ENUMATH-2001, 2002.
28. Serra-Capizzano S., Tyrtysnikov E.E. How to prove that a preconditioner is not superlinear. Math. Comput., 2002.
29. Икрамов Х.Д., Чугунов В.Н. Неравенства типа Фишера и Адамара для аккретивно-диссипативных матриц // ДАН, 2002. Т. 384, No 5, с.585-586.
30. Димитрогло М.Г., Лифанов И.К., Сетуха А.В. О новом способе расчета обтекания тонкого профиля идеальной жидкостью с отсосом внешнего потока. НММ кафедры аэродинамики ВАТУ им. Н.Е.Жуковского. 2002, с.96-112.
31. Димитрогло М.Г., Лифанов И.К., Сетуха А.В. Расчет обтекания крыла конечного размаха с отсосом внешнего потока. НММ кафедры аэродинамики ВАТУ им. Н.Е.Жуковского. 2002, с.113-132.
32. Лифанов И.К., Полтавский Л.Н. О сходимости разностных производных для численного решения к производным точного решения. Математический сборник, 2002. Т. 193, No 2, с.53-80.
33. Вайникко Г.М., Лебедева Н.В., Лифанов И.К. Численное решение сингулярного и гиперсингулярного интегрального уравнения на отрезке и дельта-функция. Математический сборник. 2002. Т. 193, No 10, с.3-13.
34. Вайникко Г.М., Лифанов И.К. О понятии конечной части расходящихся интегралов в интегральных уравнениях. Дифференциальные уравнения, 2002. Т. 38, No 9.
35. Lifanov I.K., Nikolsky D.N., Piven V.F. Mathematical modeling of the work of the system of wells in a layer with the exponential law of permeability variation and the mobile liquid interface. Russ. J. Num. Anal. Math. Modeling, 2002. V. 17 No 4, p.381-391.
36. Lifanov I.K., Piven V.F., Stavtsev S.L. Mathematical modeling of the three-dimensional boundary value problem of the discharge of the well system in a homogeneous layer. Russ. J. Num. Anal. Math. Modeling, 2002. V. 17, No 1, p. 99-112.

37. Лифанов И.К., Петров Д.Ю. Модификация метода дискретных рамок к расчету некоторых пространственных задач дифракции электромагнитных волн. *Электромагнитные волны и электронные системы*, 2002, No 7.
38. Кобельков Г.М. Симметричные аппроксимации уравнений Навье-Стокса. *Матем. сборник*, 2002. Т. 193, No 7, с.87-108.
39. Кобельков Г.М. On parabolic approximation of the Stokes problem. *Russ. J. Numer. Anal. and Math. Modelling*, 2002, 5.
40. Кобельков Г.М. On parabolic approximations of the Navier-Stokes equations. *Proceedings of the International Conference on Computational Mathematics*, Novosibirsk, 2002, p.32-40.
41. Богачёв К.Ю. Efficient Algorithms for Stiff Elliptic Problems with Large Parameters. *Russ. J. Numer. Anal. Math. Modeling*, 2002. V. 17, No 4, p.347-366.
42. Василевский Ю.В., Agouzal A. On a discrete Hessian recovery for P_1 finite elements // *Journal of Numer. Math.*, 2002. V. 10, No 1, p.1-12.
43. Василевский Ю.В., Garbey M., Resch M., Sander B., Pless D., Fleiter T.R. Stent Graft Optimization in a Computer Grid simulation Environment // 2nd Joint EMBS-BMES Conf. 2002, Ref. Number 1238.
44. Агошков В.И., Дубовский П.Б. Решение задачи восстановления функции источника в уравнении коагуляции-дробления. *Russ. J. Numer. Anal. and Math. Modeling*, 2002. V.7, No 4, p.319-330.
45. Agoshkov V.I., Bardos C., Buleev S.N. Solution of the Stokes problem as an inverse problem. *Computational Methods in Applied Mathematics*, 2002. V. 2, No 3, p.213-232.
46. Agoshkov V.I. Mathematical Models of Life Support Systems. In: *Knowledge for Sustainable Development*. Paris: UNESCO Publishing/EOLSS Publishers, 2002. V. 1, p.235-282.
47. Marchuk G., Shutyaev V. Iterative algorithms for data assimilation problems. *Chin. Ann. of Math.*, 2002. V. 23 B, No 2, p.1-8.
48. Le Dimet F.-X., Ngnepieba P., Shutyaev V.P. On error analysis in data assimilation problems. *Russ. J. Numer. Anal. Math. Modeling*, 2002. V. 17, No 1, p.71-97.

49. Shutyaev V.P. Initial condition reconstruction problem for a viscous barotropic fluid dynamic equation on a sphere. Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling, 2002. V.17, No 5, p.1-12.
50. Shutyaev V.P. Control operators and iterative algorithms for variational data assimilations problems. In: International Congress of Mathematicians. Beijing 2002, August 20-28. Abstracts. Beijing. Higher Education Press, 2002, p.347.
51. Marchuk G.I., Shutyaev V.P. Solvability and numerical algorithms for a class of variational data assimilation problems. ESAIM COCV (Control, Optimization and Calculus of Variations), 2002. V. 8, t. 2, p.873-883.
52. Дубовский П.Б. Развитие теории интегральных уравнений с нефредгольмовыми ядрами. В сб.: Сборник трудов регионального конкурса научных проектов в области естественных наук. Калуга: Эйдос, 2002, 74-89.
53. Дымников В.П. Об общих представлениях интегральных законов сохранения нелинейных дифференциальных уравнений. Доклады РАН, 2002. Т. 382, No 2, с. 173-175.
54. Глазунов А.В., Дымников В.П. Воспроизведение отклика атмосферы на аномалии температуры поверхности океана в тропиках с помощью флуктуационно-диссипационного соотношения. Изв. РАН, ФАиО, 2002. Т. 38, No 4, с.437-449.
55. Dymnikov V.P., Gritsoun A.S. Chaotic attractors of atmospheric models. Russ. J. of Num. Anal. Math. Modelling, 2002. V.17 No 3, p.249-282.
56. Gritsoun A.S., Branstator G., Dymnikov V.P. Construction of the linear response operator of an atmospheric general circulation model to small external forcing. Russ. J. Num. Anal. Math. Modelling, 2002. V. 17, No 5, p.399-416.
57. Дымников В.П., Володин Е.М., Галин В.Я., Глазунов А.В., Дианский Н.А., Лыкосов В.Н., Мошонкин С.Н., Чавро А.И. Моделирование современного климата и его изменений. В кн.: Глобальные изменения климата и их последствия для России. Ред. Г.Голицын, Ю.Израэль. Москва, 2002, с.255-286.
58. Дымников В.П. Диссипационно-флуктуационные соотношения для динамико-стохастических уравнений с периодическими зависящими от времени коэффициентами и диссипативных систем со случайным форсингом. Изв. РАН, ФАиО, 2002. Т. 38, No 6.

59. Dymnikov V.P., Volodin E.M., Galin V.Ya., Glazunov A.V., Diansky N.A., Lykossov V.N., Moshonkin S.N. Modelling of modern climate and its change. *Izv. RAS, Phys. Atm. and Ocean*, 2002, No 7.
60. Корнев А.А. К общей теории устойчивости динамических систем. *ДАН*, 2002. Т. 387, No 1.
61. Володин Е.М., Галин В.Я. Моделирование отклика атмосферы на таяние морских льдов. *Метеорология и гидрология*, 2002. No 1, с.14-21.
62. In-Sik Kang, Lau K.M., Shukla J., Krishnamurty V., Galin V.Ya. et al. Inter-comparison of atmospheric GCM simulated anomalies associated with the 1997/98 El Nino. *Journal of Climate*, 2002. V. 5, p.2791-2805.
63. In-Sik Kang, Kyung Jin, Lau K.M., Wang B., Galin V.Ya et al. Intercomparison of the climatological variations of Asian summer monsoon precipitation simulated by 10 GCMs. *Climate Dynamics*, 2002. V. 19, p.383-395.
64. Дианский Н.А., Багно А.В., Залесный В.Б. Сигма-модель глобальной циркуляции океана и ее чувствительность к вариациям ветрового напряжения трения // *Изв. АН. Физика атмосферы и океана*, 2002. Т. 38, No 4, с.537-556.
65. Дианский Н.А., Володин Е.М. Воспроизведение современного климата с помощью совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана // *Изв. АН. Физика атмосферы и океана*, 2002, No 6.
66. Diansky N.A., Bagno A.V., Zalesny V.B. World ocean circulation "sigma" model and its sensitivity to the wind stress forcing // *EGS 27th General Assembly, Nice, France, April 2002. EGS02-A-02993. Geophysical Research Abstracts*, 2002. V. 4.
67. Чавро А.И., Дмитриев Е.В. Статистическая модель восстановления региональной структуры геофизических полей // *Метеорология и гидрология*, 2002, №6, с. 39–49.
68. Чавро А.И., Дмитриев Е.В. О точности, информативности и надежности решения обратных задач по предсказуемости структуры регионального климата // *Вычислительные технологии*, 2002, Т. 7, с. 147–155.

69. Чавро А.И., Уваров Н.В. Определение метеорологических параметров системы "океан–атмосфера" вариационным методом по спутниковым измерениям в ИК-области спектра // Сб. тезисов Международного симпозиума стран СНГ "Атмосферная радиация"(МСАР–02), 18–21 июня 2002 г., г.С.-Петербург, с. 112–113.
70. Чавро А.И., Дмитриев Е.В. Методика восстановления детальной структуры полей метеопараметров на городском и региональном масштабах по их интегральным характеристикам // Тезисы докладов Международной конференции по измерениям, моделированию и информационным системам как средствам снижения загрязнений на городском и региональном уровне "EVIROMIS 2002" 6–12 июля 2002 г., Томск, Россия, с. 89–90.
71. Уваров Н.В., Чавро А.И. К вопросу о вариационном усвоении данных в задачах спутниковой метеорологии // Тезисы докладов XLV научной конференции МФТИ, 30 ноября 2002 г., г. Долгопрудный.
72. Мачульская Е.Е., Лыкосов В.Н. Моделирование термодинамической реакции вечной мерзлоты на сезонные и межгодовые вариации атмосферных параметров // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2002. — Т. 38. — №1. — С. 20–33.
73. Zilitinkevich S., Bakhvalov N., Rost J., Smedman A.-S., Lykosov V., Calanca P. Diagnostic and prognostic equations for the depth of the stably stratified Ekman boundary layer. — J. Roy. Met. Soc., 2002, v. 128, 25–46.
74. Толстых М.А. Vorticity-divergence semi-Lagrangian shallow-water model on the sphere based on compact finite differences // J. Comput. Phys. V. 179, 180–200 (2002).
75. Толстых М.А., Глухов В.Н. Implementation of global atmospheric models on parallel computers // Вычислительные технологии. 2002. — Т. 7, спец. выпуск. — С. 101–109.
76. Саркисян А.С. Основные достижения и проблемы моделирования долгосрочных изменений климата Мирового океана // Известия АН. Физика атмосферы и океана. 2002. Т. 3, №6.
77. Саркисян А.С. Учет эффекта прямого осреднения характеристик адвекции турбулентности в моделировании динамики океана // Морской гидрофизический журнал. 2002.

78. Саркисян А.С. Effect of Grid-Scale (EGS) Turbulence on Ocean Modeling // Russ. J. Number. 2002. — №6. — P. 1–5.
79. Yakovlev N.G. A Coupled Ice-Ocean Finite-Element Model of the Arctic Ocean. EOS. Trans. AGU, 83(19), Spring Meet. Suppl., Abstract GC512A-02, 2002.
80. Залесный В.Б., Мошонкин С.Н. Влияние аномалий температуры поверхности океана и ветра на изменчивость характеристик Мирового океана с периодами от одного до нескольких десятилетий // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2002. — Т. 38. №2. — С. 226–240.
81. Залесный В.Б., Конторовский С.Э. Численная модель ветровых, термохалинных и приливных течений Охотского моря // Океанология. 2002. — Т. 42. — №5. — С. 1–9.
82. Кислов А.В., Мошонкин С.Н., Торопов П.А. О генезисе похолодания верхнего дриаса // Вестник МГУ. Серия 5. География. 2002. — №3. — С. 14–21.
83. Мошонкин С.Н., Дианский Н.А., Лукьянов С.Я., Митюшин Н.Ю. Анализ и моделирование современных короткопериодных изменений климата в Северной Атлантике. "Фундаментальные исследования взаимодействия суши, океана и атмосферы" // Материалы Юбилейной всероссийской научной конференции. 2002. — С. 44–45.
84. Aloyan A.E., Arutyunyan V.O., Haymet A.D., He J.W., Kuznetsov Yu.A. and Lubertino G. Air Quality Modeling for Houston-Galveston-Brazoria Area // Environment International. 2002. — P. 451–460.
85. Aloyan A.E., Arutyunyan V.O., Louzan P.I. Numerical Modeling of the Gas-Aerosol Interaction in the Atmosphere. Proc. ENVIROMIS-2002. Tomsk, Russia. 2002. — P. 15–22.
86. Aloyan A.E., Arutyunyan V.O. Dynamics and Kinetics of Atmospheric Gaseous Species and Aerosols in the Regional Scale and Formation of Secondary Organic Aerosols // Abstracts of the VI Int. Aerosol Conf., Taipei. 2002. V. 2. — P. 845–846.
87. Aloyan A.E., Louzan P.I. Interaction of Gaseous Impurities and Aerosols With Cloud Particles // Abstracts of the VI Int. Aerosol Conf., Taipei. 2002. V. 1. — P. 49–50.

88. Козодеров В.В. Проблемы моделирования и мониторинга природных систем // Сб. "Модели механики сплошных сред". Обзорные доклады и лекции XVI сессии международной школы по моделям механики сплошной среды. Казань. Труды Математического центра им.Н.И.Лобачевского. Т. 15. Казанское математическое общество. 2002. — С. 79–109.
89. Козодеров В.В., Садовничий В.А., Ушакова Л.А., Ушаков С.А. Порядок, хаос, предсказуемость: современные представления // Сб. "Атлас временных вариаций природных процессов". Т. 3. — М.: Научный мир, 2002. — С. 118–136.
90. Козодеров В.В., Косолапов В.С. Оценка точности аэрокосмического многоканального метода восстановления плотности лесной фитомассы по результатам моделирования // Исслед. Земли из космоса. 2002. — №1. — С. 72–80.
91. Козодеров В.В., Егоров В.Д. Модель формирования кислотных соединений в атмосфере с учетом трансформации аэрозольных частиц и облачности // Исслед. Земли из космоса. 2002. — №4. — С. 21–31.
92. Козодеров В.В. Информационно-динамические модели описания эволюции природных систем // Тезисы доклада на XIV Всероссийской конференции "Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов для решения задач математической физики". (Поселок Дюрсо Краснодарского края.) Изд. Института механики и математики Уральского отделения РАН, Екатеринбург. 2002. — С. 121–122.
93. Козодеров В.В., Sushkevich T.A., Strelkov S.A., Vladimirova E.V. et al. Mathematical modeling of the radiation transfer in natural media using high-performance computing systems. Dubna, Moscow region. Book of Abstracts, volume I. Joint Institute for Nuclear Research. 2002. P. 79.
94. Косолапов В.С. Повышение точности восстановления параметров состояния лесной растительности в методе аэрокосмического многоканального зондирования // Исслед. Земли из космоса. 2001. — №6. — С. 1–14.
95. Junge A., Maier R., Vartanian J.P., Bocharov G., Jung V., Fisher U., Meese E., Wain-Honson S., Meyerhans A. Multiply infected spleen cells in HIV patients. NATURE. 2002. 418. P. 144.

96. Bocharov G., Klenerman P., Ehl S. Modelling the dynamics of LCMV infection in mice: II Compartmental structure and immunopathology. *Journal of Theoretical Biology*. 2002. — V. 220.
97. Ludewig B., Krebs P., Junt T., Bocharov G. Dendritic cell homeostasis in the regulation of self-reactivity. *Current Pharmaceutical Design*. 2002. — V. 8.
98. Бербенцова Э.П. Противовирусная терапия. *Медицинская газета*. 2002. №№9,6,2. С. 9.
99. Бербенцова Э.П. и соавт. Особенности вирусного поражения слизистой оболочки бронхов при ХНЗЛ и методика выявления антигенов вирусов // В сб. тезисов научных работ конференции "Новые методы диагностики и лечения в медицинских учреждениях Управления делами Президента РФ". Москва, 30 мая 2002 г. С. 48–49.
100. Бербенцова Э.П. и соавт. Роль местной терапии при хронических заболеваниях легких вирусной этиологии // В сб. тезисов научных работ конференции "Новые методы диагностики и лечения в медицинских учреждениях Управления делами Президента РФ". Москва, 30 мая 2002 г. С. 49–50.
101. Бербенцова Э.П., Агафонникова К.И. и др. Роль рецидивирующих ОРВИ, персистентной вирусной инфекции в развитии, прогрессировании и прогнозе воспалительных заболеваний ВДП, бронхов, легких. Лечение // Материалы VIII Всероссийского съезда эпидемиологов, микробиологов, паразитологов. 26–28 марта 2002 г. Т. I. М., РОСИНЭКС.
102. Мартиросов Э.Г., Руднев С.Г. Новые технологии и методы определения состава тела человека // Сб. трудов 4-й международной конференции по интегративной антропологии. СПб: СпбГМУ им.Павлова, 2002.

9. Участие сотрудников ИВМ РАН в конференциях

Сотрудники института приняли участие в 37 конференциях:

Конференции в России — 23.

Международные конференции за рубежом — 14.

Всего докладов — 67.

1. Конференция "Научный сервис в сети Интернет". Новороссийск, сентябрь 2002 г. *Воеводин В.В. ЛИНЕАЛ: электронная энциклопедия по линейной алгебре.*
2. Конференция "Основные направления развития электронных образовательных изданий и ресурсов", организованная Минобразования РФ. Москва, ноябрь 2002 г., ВВЦ, 57 павильон. *Воеводин В.В. ЛИНЕАЛ: электронная энциклопедия по линейной алгебре.*
3. Международная конференция "Математические идеи П.Л.Чебышева и их приложение к современным проблемам естествознания". Обнинск, 14–18 мая 2002 г.
 - *Бахвалов Н.С., Богачев К.Ю., Эглит М.Э. Об уравнениях для дисперсии волн в стержнях, пластинах и стратифицированных средах.*
 - *Лебедев В.И. Эффективные численные методы нахождения параметров экстремальных многочленов.*
 - *Чижонков Е.В. К оптимизации методов с конструктивными седловыми операторами на верхнем слое.*
 - *Клячин В.А. Оптимальный метод второго порядка точности для решения жестких систем обыкновенных дифференциальных уравнений.*
 - *Дубовский П.Б. Non-uniqueness problem and natural spaces for linear non-Fredholm integrale equations.*
4. Международная конференция по вычислительной математике "ICSM-2002". Новосибирск, 24–28 июня 2002 г.
 - *Горейнов С.А., Тыртышников Е.Е. Решатели типа "серый ящик" для разреженных и плотных матриц.*
 - *Лебедев В.И. The Extremal Polynomials, the Pseudo-difference Operators, and the stable explicit Schemes for the Solution of stiff nonstationary Problems of Mathematical Physics.*
 - *Кобельков Г.М. On parabolic approximations of the Navier-Stokes equations.*
 - *Богачев К.Ю. Effective Algorithms of Solving stiff Anisotropic Elliptic Problems with Large Parameters.*

5. Международная конференция по обратным задачам. Новосибирск, август 2002. *Лебедев В.И. On the regularization method for some nonstationary ill-posed Problems of Mathematical Physics and the stable explicit Schemes for the Solution.*
6. Международный симпозиум АЕР по расчетам реакторов. Золотые пески (Болгария), сентябрь 2002. *Лебедев В.И., Горейнов С.А. и др. Development of program GIDR-3M: modelling of 3D hydrodynamics with heat transport for the downward flow region of the VVER reactor.*
7. Международная конференция "Mechanics of Composite Matherials — 2002, Twelfth International Conference". 9–13 June, 2002. Riga, Latvia. *Bakhvalov N.S., Eglit M E. Dispersion effects in the propagation of elastic waves in thin laminated plates.*
8. 16 International Symposium on Nonlinear Acoustics (16th ISNA). Moscow, Russia, August 19–23, 2002. *Bakhvalov N.S., Bogachev K.Yu., Eglit M E. Elastic Waves in Inhomogeneous Media and Structures.*
9. Ломоносовские чтения — 2002. Москва, апрель, 2002.
 - *Быченков Ю.В., Чижонков Е.В. Об одном подходе к регуляризации задач с седловой точкой.*
 - *Корнев А.А. О лемме Адамара-Перрона.*
10. Конференция "International Conference on Structured Matrices". Гонконг, 29 мая – 1 июня 2002. *Тыртмышников Е.Е. "Structured preconditioners for some operator equations".*
11. Конференция "Challenges in Matrix Theory (The Tenth ILAS Conference)". США, Аубурн, 10–13 июня 2002. *Тыртмышников Е.Е. "Approximation problems for function-related matrices".*
12. Конференция "Boundary Element Methods — Modern Algorithms and Industrial Applications"(BMBF–Workshop). Германия, Саарбрюкен, 30 сентября – 2 октября 2002.
 - *Тыртмышников Е.Е. "New structures in approximation of BEM matrices".*
 - *Горейнов С.А. "Sparse and dense structures in matrix approximation".*

13. Тихоновские чтения. Москва, 28–30 октября, 2002. *Лифанов И.К., Ненашев А.С. Новый подход к теории проволочных антенн.*
14. Школа молодых ученых "МДОЗМФ" (Метод дискретных особенностей задач математической физики). Орел, Орловский государственный университет (ОГУ), 11–14 февраля, 2002. *Ставцев С.Л. Решение задачи о дебите системы скважин в кусочно-неоднородных слоях.*
15. Международная конференция "Preconditioning methods for optimal control and constrained optimization problems". Нидерланды, октябрь, 2002.
 - *Кобельков Г.М., Гвоздев В.В. Numerical simulation of the tide-wave process.*
 - *Кобельков Г.М., Богачев К.Ю. Effective Algorithm of Solving Stiff Anisotropic Elliptic Problems with Large Parameters.*
16. Международная конференция "50 лет сопряженным градиентам". Финляндия, Юваскюла, июнь 2002. *Василевский Ю.В. Parallel Adaptive Solution of 3D Boundary Value Problems by Hessian Recovery.*
17. Конференция "Построение расчетных сеток: теория и приложения". Москва, МИРАН, июнь 2002. *Василевский Ю.В. Parallel Adaptive Solution of 3D Boundary Value Problems by Hessian Recovery.*
18. Международный симпозиум "Finite Element Rodeo". США, Техас, Колледж Стэйпин, март 2002. *Василевский Ю.В. Parallel Adaptive Solution of 3D Boundary Value Problems by Hessian Recovery.*
19. Международная школа по усвоению данных (NATO Advanced Study Institute on Data Assimilation for the Earth System). Италия, Аквафреда ди Маратеа, 19 мая – 1 июня 2002. *Shutyaev V. Control operators and fundamental control functions in data assimilation. Solvability of variational data assimilation problems and iterative algorithms. Fundamental control functions and error analysis.*
20. Международный конгресс математиков (ICM2002). Китай, Пекин, 20–28 августа 2002. *Шутяев В.П. Control operators and iterative algorithms for variational data assimilation problems.*

21. Конференция "Дифференциальные уравнения и динамические системы". Суздаль, июль 2002. *Корнев А.А. Об устойчивых и неустойчивых многообразиях в окрестности неподвижной негиперболической точки.*
22. XXVII Генеральная ассамблея Европейского геофизического сообщества. Франция, Ницца, 20–27 апреля 2002.
 - *Володин Е.М. Balance of zonal-mean zonal wind and temperature for Arctic oscillation.*
 - *Володин Е.М. Projection of AGCM response excited by prescribed thermal forcing onto Arctic oscillation.*
 - *Дианский Н.А., Багно А.В., Залесный В.Б. World ocean circulation "sigma" model and its sensitivity to the wind stress forcing.*
 - *Дианский Н.А., Володин Е.М. Numerical simulation with INM coupled atmosphere-ocean GCM: climatology and sensitivity to increasing of CO₂.*
 - *Грицун А.С. Парная симметрия показателей Ляпунова на аттракторах моделей атмосферы.*
 - *Глазунов А.В., Дымников В.П. The application of fluctuation-dissipation relationship in the study of atmospheric response to tropical SST anomaly.*
 - *Саркисян А.С. Эффект прямого осреднения характеристик адвекции турбулентности в моделировании динамики океана.*
23. Международная конференция "Математика в атмосферных и океанических науках". Германия, Обервольфах, июль 2002. *Дымников В.П. Чувствительность климатических моделей к малым внешним воздействиям.*
24. Школа для молодых преподавателей вузов. Москва, 2002. *Дымников В.П. Проблемы моделирования климата и его изменений.*
25. Всероссийская юбилейная конференция "Фундаментальные исследования взаимодействия суши, океана и атмосферы", посвященная 250-летию МГУ и 10-летию РФФИ. Москва, 30 октября – 1 ноября 2002.
 - *Лыкосов В.Н. Взаимодействие пограничного слоя суши в условиях холодного климата.*
 - *Ибраев Р.А. Модель гидродинамики внутреннего моря.*

- *Ибраев Р.А. Сезонная изменчивость циркуляции и уровня вод Каспийского моря: результаты моделирования и данные наблюдений.*
 - *Козодеров В.В. Взаимодействия атмосферы, океана и поверхности суши: роль космических средств наблюдений.*
 - *Дианский Н.А., Володин Е.М. Воспроизведение климата и исследование его чувствительности к увеличению CO_2 с помощью совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана.*
 - *Мошонкин С.Н. Анализ и моделирование современных короткопериодных изменений климата в Северной Атлантике.*
26. Международная конференция "Экстремальные явления в криосфере: фундаментальные и прикладные аспекты". Пущино, 12–15 мая 2002. *Лыкосов В.Н., Мачульская Е.Е. Моделирование сезонных и межгодовых изменений массоэнергообмена между атмосферой и сушией в регионах холодного климата.*
27. Международный симпозиум стран СНГ "Атмосферная радиация" (МСАР-02). Санкт-Петербург, 18–21 июня 2002 г. *Чавро А.И., Уваров Н.В. Определение метеорологических параметров системы океан–атмосфера вариационным методом по спутниковым измерениям в ИК-области спектра.*
28. Международная конференция по измерениям, моделированию и информационным системам, как средствам снижения загрязнения на городском и региональном уровне "ENIROMIS-2002". Томск, 6–12 июля 2002 г.
- *Чавро А.И., Дмитриев Е.В. Методика восстановления детальной структуры полей метеопараметров на городском и региональном масштабах по их интегральным характеристикам.*
 - *Лыкосов В.Н. Моделирование и оценка региональных воздействий глобальных изменений климата на природную среду.*
 - *Гордов Е.П., Руддер Де А., Ипполитов И.И., Крутиков В.А., Лыкосов В.Н., Михалев А.В., Фазлиев А.З., Федра К. Веб-портал для представления информации о природной среде Сибири.*
 - *Алоян А.Е., Арутюнян В.О., Лузан П.И. Численное моделирование взаимодействия газовых примесей и аэрозолей в атмосфере.*

- *Володин Е.М., Дианский Н.А. Воспроизведение климата и исследование его чувствительности к увеличению содержания углекислого газа в атмосфере с помощью совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана.*
29. VI международная аэрозольная конференция. Тайбэй, Тайвань, 7–14 сентября 2002 г.
- *Алоян А.Е., Арутюнян В.О. Dynamics and kinetics of atmospheric gaseous species and aerosols in the regional scale and formation of secondary sulfate aerosols.*
 - *Алоян А.Е., Лузан П.И. Interaction of gaseous impurities and aerosols with cloud particles.*
30. Конференция "Boreal forests and environment: local, regional and global scales". Россия, Красноярск, 5–8 августа 2002. *Гордов Е.П., Лыкосов В.Н. Вычислительно-информационные технологии для оценки региональных последствий глобальных изменений климата на природную среду.*
31. Немецко-российский семинар по моделированию океана. Германия, Гамбург, 19–22 ноября 2002 г.
- *Саркисян А.С. Эффект прямого осреднения характеристик адвекции турбулентности в моделировании динамики океана.*
 - *Залесный В.Б. Approaches to the numerical solution of initialization/data assimilation problems.*
 - *Лыкосов В.Н. Air-earth interaction under cold climate conditions.*
 - *Яковлев Н.Г. Итоги реализации программы сравнения моделей Северного Ледовитого океана.*
32. V международный конгресс по математическому моделированию. Дубна, 30 сентября – 4 октября 2002. *Козодеров В.В. Математическое моделирование переноса излучения в природных средах с использованием высокопроизводительных вычислительных систем.*
33. XIV всероссийская конференция "Теоретические основы конструирования численных алгоритмов для решения задач математической физики". Пос. Дюрсо Краснодарского края, 17–21 сентября 2002. *Козодеров В.В. Информационно-динамические модели описания эволюции природных систем.*

34. XVI сессия международной школы по моделям механики сплошной среды. Казань, Математический центр Казанского университета, 27 июня – 2 июля 2002. *Козодеров В.В. Проблемы моделирования и мониторинга природных систем.*
35. XLV научная конференция Московского физико-технического института. Долгопрудный, 30 ноября 2002 г. *Уваров Н.В., Чавро А.И. К вопросу о вариационном усвоении данных в задачах спутниковой метеорологии.*
36. 4-я международная конференция по интегративной антропологии. С.-Петербург, Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им.Павлова, 23–25 мая 2002 г. *Руднев С.Г., Мартиросов Э.Г. Новые технологии и методы определения состава тела человека.*
37. Научная конференция "Математика, механика и информатика 2002", посвященная 10-летию РФФИ. МИРАН, 14–18 октября 2002 г. *Романюха А.А., Руднев С.Г. Математическое моделирование противоинфекционной иммунной защиты. Энергетическая цена и эффективность.*

10. Тезисы научных докладов на отчетной сессии 2002 года

1. Вычислительная математика

В.В. Воеводин

Формирование и исследование математических основ параллельных вычислений

В процессе исследований были обнаружены многочисленные связи параллельных вычислений с другими областями знаний, в первую очередь с алгоритмами и описывающими их программами. Это привело к созданию новой теории, получившей название информационной структуры алгоритмов и программ. С её помощью удалось решить многие проблемы, касающиеся собственно

параллельных вычислений: выявление параллельных ветвей вычислений, организация распределённых вычислений, построение математических моделей спецпроцессоров, в частности систолических массивов, и др. Удалось также показать связь параллельных вычислений с рядом математических задач, далёких от какого-либо параллелизма. К ним относятся оценивание влияния ошибок округления, быстрое вычисление значения градиента в точке, восстановление линейного функционала и т.п.

Различные аспекты параллельных вычислений изложены в книге: В.В.Воеводин, Вл.В.Воеводин. "Параллельные вычисления"(Изд-во БХВ-Петербург, 608 с., 2002, 3000 экз.).

Ю.М. Нечепуренко

Разработка методов численного спектрального анализа

Совместно с С.К. Годуновым (ИМ СОРАН) и М. Садкане (Франция, Университет Бретани) предложен новый метод вычисления инвариантных подпространств — метод Ньютона–Канторовича. Метод получен введением в схему метода Ньютона, описанного в [1], вспомогательного оператора. Для конечномерных аналогов операторов в частных производных скорость сходимости полученного метода не зависит от шага сетки.

Совместно с М. Садкане получены оценки скорости сходимости метода Ньютона–Канторовича, основанные на интегральных критериях качества дихотомии и позволяющие для конечномерных аналогов операторов в частных производных связать скорость сходимости метода со свойствами исходного оператора, которые изучает спектральная теория дифференциальных операторов. Проведена серия численных экспериментов, иллюстрирующих теоретические оценки и наметивших дальнейшее развитие метода с целью разработки эффективного алгоритма вычисления инвариантных подпространств для исследования устойчивости нелинейных систем по линейному приближению. Результаты представлены к публикации [2–3].

Совместно со студентом 5 курса МФТИ Р.С. Мартыновым для линейных динамико-стохастических систем предложен новый алгоритм оценки оператора отклика на ступенчатое возмущение. Выполнен анализ погрешности этого алгоритма, основанный на оценках, полученных в работах [4–5]. Результаты готовятся к публикации.

Список литературы

- [1] Годунов С.К., Нечепуренко Ю.М. Оценки скорости сходимости метода Ньютона для вычисления инвариантных подпространств// ЖВМ и МФ, 2002. Т.42, N 6. С.771–779.
- [2] Нечепуренко Ю.М., Саджане М. О сходимости метода Ньютона–Канторовича для вычисления инвариантных подпространств// Представлена в Мат. заметки.
- [3] Nechipurenko Yu.M., Sadkane M. The Newton–Kantorovich method for computing invariant subspaces//Submitted to Comp. Maths. Math. Phys.
- [4] Нечепуренко Ю.М. Оценка нормы матричной экспоненты через норму решения уравнения Ляпунова и границы хаусдорфова множества// ЖВМ и МФ, 2002. Т.42, N 2. С.131–141.
- [5] Нечепуренко Ю.М. Оценка нормы матрицы Грина через интегральный критерий качества дихотомии и границы хаусдорфова множества// Мат. заметки, 2002. Т.71. Вып.2. С.232–238.

А.Б. Богатырёв

Спецфункции, связанные с римановыми поверхностями и их приложения

Многие математические и физические теории — конформная теория поля, теория струн, конечнозонное интегрирование, чебышевские задачи о наименьшем уклонении — существенно используют теорию функций на комплексных кривых (римановых поверхностях) и их деформационных пространствах. Такие объекты, как абелевы дифференциалы, их интегралы и периоды; квадратичные дифференциалы и периоды Айхлера, униформизирующие функции, функции Шоттки, тета и дзета ряды Пуанкаре, тета функции Римана, часто встречаются в формулах теоретиков. Иногда (например, в теории экстремальных многочленов) необходимо решать уравнения на пространстве модулей кривых. К сожалению, ответы в перечисленных теориях часто остаются в виде формул, которые никто и не пытается довести до численных значений. Наши исследования

направлены на эффективные вычисления, связанные с римановыми поверхностями.

Теория эллиптических функций, известная как "жемчужина математики 19 века", развивалась на протяжении более 100 лет, а число публикаций по этому предмету составляет многие десятки тысяч. В частности, методы вычисления этих функций отлично отработаны, и сейчас мы можем эффективно работать с кривыми рода $g = 1$ (торами) при помощи компьютера. Вопросы эффективных вычислений для кривых высшего рода за редким исключением не рассматривались.

Теорема А.И. Бобенко (1986, [1]), утверждающая, что всякая вещественная алгебраическая кривая допускает униформизацию по Шоттки с абсолютно сходящимися тета линейными рядами Пуанкаре, стала ключом к численному анализу на римановых поверхностях и их пространствах деформаций. Для малого рода $g = 2, 3$ (при условии что кривые не слишком вырождены) мы умеем вычислять за приемлемое время даже на персональном компьютере с точностью $1.E-12$ следующие величины [2]:

- $(u, v; x, y)$ — функция Шоттки (см. определение в [3, 4])— экспонента от абелева интеграла третьего рода с полюсами x, y в пределах u, v .
- $E_j(u)$ — экспонента от абелева интеграла 1-го рода, $j = 1, \dots, g$.
- E_{ij} — экспоненты от периодов абелевых интегралов на кривой C , $i, j = 1, \dots, g(C)$.
- $\theta_m[R](u)$ — тета ряды Пуанкаре различных порядков, линейные, квадратичные...
- $\zeta_m(\xi, R)(u)$ — дзета ряды Пуанкаре различных порядков, $m = 1, 2, \dots$

Список литературы

- [1] *Belokolos E.D., Bobenko A.I., Enolskii V.Z., Its A.R., Matveev V.B.* Algebraic-geometric approach to nonlinear integrable equations. — Springer, Berlin, 1994.
- [2] *Bogatyrev A.* "Effective computation of Chebyshev polynomials for several intervals"file://Sbornik: Mathematics. 190:11. P.1571-1605.

- [3] *Schottky F.* Über eine spezielle Funktion welche bei einer bestimmten linearen Transformation ungeändert bleibt // J. Reine Angew. Math. 101(1887). P.227–272.
- [4] *Burnside W.* t On a class of automorphic functions file //Proc. London Math. Soc. Vol XXIII. 1891. P. 49-88.

Н.С. Бахвалов, К.Ю. Богачев

**Исследование эффективных уравнений с дисперсией,
описывающих распространение волн в неоднородных
тонких стержнях**

Рассматривается распространение упругих волн в однородном по длине цилиндрическом стержне при условии, что поверхность стержня свободна от нагрузки. Далее, ε — безразмерный параметр — отношение толщины стержня к типичной длине волны.

Построены осредненные уравнения точности $O(\varepsilon^3)$ относительно вектора \mathbf{v} со следующими элементами. Первый элемент вектора \mathbf{v} соответствует перемещениям вдоль стержня, второй и третий соответствуют поперечным смещениям (изгибу), четвертый определяет угол поворота сечения стержня:

$$L_4 \mathbf{v} = -\hat{\rho} \frac{\partial^2 \mathbf{v}}{\partial t^2} + H_2 \frac{\partial^2 \mathbf{v}}{\partial x^2} + \varepsilon H_3 \frac{\partial^3 \mathbf{v}}{\partial x^3} + \varepsilon^2 H_4 \frac{\partial^4 \mathbf{v}}{\partial x^4} = 0.$$

Вычисления матриц H_l , $l = 2, 3, 4$, проводились для стержней с квадратным сечением $|y_2 - a_2|, |y_3 - a_3| \leq 1/2$, составленным из четырех равных однородных стержней; значения a_2, a_3 в каждом случае подбирались так, чтобы центр тяжести сечения совпадал с началом координат.

В литературе рассматриваются уравнения с дисперсией, не содержащие члена $\varepsilon \frac{\partial^3 \mathbf{z}}{\partial x^3}$. Результаты расчетов показывают, что появление такого члена типично в случае, когда отсутствует некоторая специфическая симметрия структуры стержня. В результате расчетов получены различные случаи поведения скорости распространения гармонических волн с ростом частоты. В частности, обнаружен случай, когда скорости распространения продольных волн и волн

кручения возрастают с ростом частоты. Последний вариант, по-видимому, ранее в литературе не встречался. Простейший пример его реализации: три четвертинки исходного квадрата состоят из одинакового изотропного материала, а четвертая — из другого изотропного материала.

Е.Е. Тыртышников

Метод тензорных аппроксимаций

Получены теоремы существования матричных аппроксимаций малого тензорного ранга для матриц, ассоциированных с асимптотически гладкими функциями, и эффективные алгоритмы их построения, использующие относительно малую часть строк и столбцов исходной матрицы. Разработан метод решения систем линейных алгебраических уравнений с большими плотными матрицами (на основе тензорных аппроксимаций, дискретного вейвлет-преобразования и неполного треугольного разложения), позволивший решать системы с числом неизвестных более 1 миллиона за 30–40 минут на персональном компьютере с оперативной памятью 1 гигабайт.

В качестве практически интересного примера рассмотрим матрицы $A = [a_{ij}]$ порядка $n = p^2$, определенные следующим образом:

$$a_{ij} = \begin{cases} 2p, & i = j, \\ 1/\|z^i - z^j\|, & i \neq j, \end{cases}$$

где z^i — узлы равномерной сетки в квадрате с шагом $1/n$. Разработанный нами метод аппроксимации и предобусловливания для данных матриц был применен в сочетании с методом сопряженных градиентов. Результаты собраны в следующей таблице.

n	16 384	65 536	262 144	1 048 576
Тензорный ранг	12	13	16	16
Погрешность тензорной аппроксимации	$3.8 \cdot 10^{-5}$	$6.4 \cdot 10^{-5}$	$3.1 \cdot 10^{-5}$	$6.8 \cdot 10^{-5}$
Время вычисления Ax	0.2 сек	1.2 сек	15.4 сек	48.3 сек
Число итераций	18	22	26	35
Время выполнения итераций	4.7 сек	28.8 сек	7.17 мин	30.33 мин
Редуцированное число обусловленности	32.59	53.21	90.44	159.77
Относительная погрешность решения	$1.2 \cdot 10^{-4}$	$1.8 \cdot 10^{-4}$	$9.6 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-4}$

Заметим, что при применении метода сопряженных градиентов без предобуславливания для $n = 1\,048\,576$ потребовалось 185 итераций и 145.6 минут (оценка числа обусловленности по числам Ритца составила 6736.15). Вычисления проводились на компьютере с процессором AMD-1000 и оперативной памятью 1 гигабайт.

В.Н. Чугунов

Двумерный сеточный генератор конформной треугольной сетки, аппроксимирующей набор ломаных

Рассмотрим следующую задачу. Дана грубая начальная конформная треугольная сетка, покрывающая область Ω , и некоторое множество ломаных, задаваемых набором точек на плоскости. Требуется построить конформную треугольную сетку на Ω , удовлетворяющую следующим условиям:

- заданные ломаные лежат на сторонах треугольников,
- треугольники имеют хорошее качество,
- число треугольников минимально.

Под хорошим качеством сетки понимается отсутствие достаточно острых углов у треугольников.

Данная задача решается при предположениях:

- любая ломаная не имеет самопересечений,
- первая и последняя точки любой ломаной лежат на границе,
- ни одна из внутренних точек любой ломаной не лежит на границе области Ω .

Для формулировки алгоритма введем типы узлов сетки и допустимые операции. Каждый из узлов сетки может быть либо неподвижным, либо подвижным только вдоль границы, либо подвижным в любом направлении. При построении алгоритма мы можем пользоваться только двумя допустимыми операциями: сдвиг узла и разбиение одного или нескольких произвольно заданных треугольников.

Алгоритм построения состоит из нескольких шагов.

Шаг 1: строим множество Z , состоящее из изгибов, граничных точек ломаных и точек пересечения ломаных.

Шаг 2: аппроксимируем точки множества Z узлами сетки с помощью допустимых операций. Для этого для каждого треугольника находим подмножество вершин из Z , принадлежащее данному треугольнику, двигаем одну из вершин в элемент Z , добиваясь наилучшего качества, а при недостатке вершин совершаем разбиение треугольника.

Шаг 3: улучшаем качество сетки за счет сдвижки подвижных узлов, если это возможно.

Шаг 4: приближаем стороны треугольников к звеньям ломаных, используя лишь допустимые операции. Для достижения этого сначала для каждого треугольника i вводим его качество по отношению к каждому звену j каждой ломаной l

$$\hat{Q}_i^{(l,j)} = 1 - \frac{2 * \min(S_1, S_2)}{S},$$

где S — площадь треугольника, а S_1 и S_2 — площади фигур, на которые звено j ломаной l разбивает треугольник i . Затем для каждого треугольника вводим его качество по отношению ко всем ломаным

$$\hat{Q}_i = \prod_l \prod_j \hat{Q}_i^{(l,j)}$$

и двигаем вершины треугольника, добиваясь наилучшего качества \hat{Q}_i . При необходимости получить дополнительные степени свободы совершаем разбиение треугольников.

Шаг 5: улучшаем качество сетки за счет сдвижки подвижных узлов, если это возможно.

В результате получаем конформную треугольную сетку, удовлетворяющую требованиям задачи.

С.А. Горейнов

**О новой оценке метода GMRES, улучшающей оценку Элмана.
Об оптимальности метода вложенных рассечений для
одного класса матриц**

Для величины $\|r_n\| = \min_{p \in \Pi_n} \|p(A)r_0\|$, где A — заданная матрица, r_0 — заданный вектор, Π_n — множество многочленов степени не выше n , принимающих значение 1 в нуле, известны следующие оценки:

$$\frac{\|r_n\|}{\|r_0\|} \leq \|V\| \|V^{-1}\| E_n(\Lambda(A)); \quad (\text{E.V.})$$

$$\frac{\|r_n\|}{\|r_0\|} \leq 2E_n(W(A)); \quad (\text{F.O.V.})$$

$$\frac{\|r_n\|}{\|r_0\|} \leq \frac{\text{mes } \Gamma_\varepsilon}{2\pi\varepsilon} E_n(\Lambda_\varepsilon). \quad (\text{P.S.})$$

Здесь $\Lambda(A)$ — спектр A , $W(A) = \{u^*Au : u^*u = 1\}$ — хаусдорфово множество A , Λ_ε — псевдоспектр A ,

$$E_n(K) = \min_{p \in \Pi_n} \max_{z \in K} |p(z)|.$$

Если множество K ограничено кривой *ограниченного вращения* [1], для величины $E_n(K)$ могут быть получены следующие оценки [3]:

$$E_n(K) \leq \left(\frac{V}{2\pi} + 2\right) \gamma^n, \quad \gamma = \frac{1}{|\phi(0)|},$$

где V — вращение ∂K , $\phi(z)$ — функция с полюсом в бесконечности, отображающая внешность K на внешность единичного круга. Если, дополнительно, K выпукло, имеет место оценка

$$E_n(K) \leq 3\gamma^n, \quad \gamma \leq \frac{1}{\frac{\varepsilon}{2c} + \sqrt{\left(\frac{\varepsilon}{2c}\right)^2 + 1}},$$

где $\varepsilon = \text{dist}(\partial K, 0)$, c — конформный радиус K .

Рассмотрим следующий пример. Пусть известны величины $\|A\|$ и $\lambda_1 = \lambda_{\min}((A + A^*)/2)$, причем последняя положительна. Тогда спектр A содержится в сегменте круга радиуса $\|A\|$ и раствора β такого, что $\cos \beta = \lambda_1/\|A\|$.

В этом случае

$$E_n \leq 3\gamma^n, \quad \gamma = 2 \sin \frac{\beta}{4 - \frac{2\beta}{\pi}},$$

что улучшает известную оценку Элмана $\|r_n\|/\|r_0\| \leq \sin^n \beta$: в самом деле, $\sin \beta = E_1$.

Обобщен результат Дж. Гильберта о существовании упорядочивания, получаемого методом вложенных расщеплений [4], допускающего оценку

$$F_{\text{nd}} \leq \text{const. } d \log n F_{\text{opt}},$$

где F — число элементов заполнения, возникающего при треугольном разложении данной матрицы порядка n , индексы nd и opt относятся к упорядочиваниям матрицы методом вложенных расщеплений и оптимальному в смысле заполнения; d — максимальное число ненулевых элементов в строке данной матрицы.

Именно, для локального разностного оператора, действующего на квазиравномерной сетке, имеет место оценка

$$E_{\text{nd}} \leq \text{const. } \log n E_{\text{opt}},$$

где E — число ненулевых элементов после треугольного разложения.

Список литературы

- [1] *Gaier D.* “Vorlesungen über Approximation im Komplexen.” Birkhäuser, 1980.
- [2] *Kövari T., Pommerenke Ch.* “On Faber polynomials and Faber expansions.” *Math. Z.* 1967. V. 99. P. 193–206.
- [3] *Tyrtyshnikov E. E., Goreinov S. A., Beckermann B.* “Some remarks on the Elman estimate for GMRES”.
- [4] *George A., Liu J. W. H.* “Computer solution of large sparse positive definite systems”. Prentice-Hall, 1981.
- [5] *Goreinov S. A.* “On a geometric nested dissection algorithm.”
- [6] *Goreinov S. A., Danichev V. V., Lebedev V. I., Smirnov L. P., Ustinov V. S., Hamaza V. A.* “Development of program GIDR-3M: modelling of 3D hydrodynamics with heat transport for the downward flow region of the VVER reactor”. Proceedings of the 12th symposium of the AER.

A study of some inverse problems for distributed parameter systems by optimal control theory¹

Abstract

1. Mathematical theory of inverse problems for distributed parameter systems is nowadays an extensive area of mathematical physics. Usually inverse problems are ill-posed and there are specific difficulties in investigation and numerical solution of such problems. Therefore elaboration of new approaches and methods in this field is an urgent problem. One of such approaches is based on optimal control theory [1–5].

2. Let X_c, H_0, H_c be Hilbert spaces; W, Y, H_{ob} be Banach spaces (where "ob" stands for "observations", while "c" — for "controls"); and W^*, \dots, Y^* be the adjoint spaces, where $H_0 \equiv H_0^*$ and $H_c \equiv H_c^*$ are basic. The inclusions $W \subseteq \subseteq Y \subset H_0 \subset Y^* \subseteq W^*$ and $X_c \subseteq H_c \subseteq X_c^*$ are assumed to be continuous and dense.

Consider the equation

$$L\varphi = f_0 + Bv, \quad (1)$$

where f_0 is the vector of given data; v is data that are to be determined concurrently with φ ; L and B are closed linear operators; the operator L acts from W into Y^* , and B acts from H_c into Y^* . We assume that the domain of L is dense in W , while its range is dense in Y^* , i.e., $\overline{D(L)} = W$, $\overline{R(L)} = Y^*$, and that L is a continuously invertible operator. Here the operator B is bounded and $D(B) = X_c$. If $f_0 \in Y^*$ and $v \in H_c$ are given, then we assume that equation (1) has a solution (which is weak, in general) $\varphi \in W$, and the estimate $\|\varphi\|_W \leq C(\|f_0\|_{Y^*} + \|v\|_{H_c})$ is valid.

To complete the setting of the problem for φ and v , the equation

$$C\varphi = \phi_{ob} \quad (2)$$

is introduced, where $C : W \rightarrow H_{ob}$ is a linear operator, and ϕ_{ob} is a given element of H_{ob} . The inverse problem is stated as follows: find $\varphi \in W$ and $v \in X_c$ such that (1), (2) hold.

Along with (1), (2) consider the following optimal control problem: find $\varphi = \varphi(v)$ and a control $v \in X_c$ such that

$$L\varphi = f_0 + Bv, \quad J_\alpha(\varphi(v), v) = \inf_{\tilde{v}} J_\alpha(\varphi(\tilde{v}), \tilde{v}), \quad (3)$$

¹The work was supported by Russian Foundation for Basic Research (grant 01-01-00928).

where: $J_\alpha(\varphi(v), v) = \alpha(\Lambda_c(v - v_c), v - v_c)_{H_c} + \|C\varphi - \phi_{ob}\|_{H_{ob}}^2$; $\Lambda_c : X_c \rightarrow X_c^*$ is a symmetric positive definite operator, the norm $\|v\|_{\Lambda_c} \equiv \|\Lambda_c^{1/2}v\|_{H_c}$ being equivalent to the norm $\|v\|_{X_c}$ in X_c ; $\alpha \geq 0$ is a numerical parameter; and $v_c \in X_c$ is a given element. If φ, v is a solution of the problem (1), (2), then it is also a solution of (3) with $\alpha = 0$. So, (3) can be considered as a weak statement of the problem (1), (2).

On the other hand, the problem (3) is equivalent to the following system of variational equations in $Y^* \times W^* \times X_c^*$:

$$L\varphi = f_0 + Bv, \quad L^*q = C^*(C\varphi - \phi_{ob}), \quad \alpha\Lambda_c(v - v_c) + B^*q = 0. \quad (4)$$

One of approaches of the studying the problem (4) consists in successive elimination of φ, q and in deriving an abstract equation for the control v [1]:

$$\alpha\Lambda_c v + \mathcal{A}_0 v = g, \quad (5)$$

where $\mathcal{A}_0 = B^*L^{*-1}C^*CL^{-1}B$ and $g = \alpha\Lambda_c v_c + B^*L^{*-1}C^*(\phi_{ob} - CL^{-1}f_0)$. After the properties of the operator \mathcal{A}_0 have been studied, solvability results for equation (5) with $\alpha \geq 0$ can be formulated. It is also possible to prove that v together with $\varphi \equiv L^{-1}(f_0 + Bv)$ is an appropriate solution (a ‘‘quasi-solution’’, a ‘‘weak solution’’, an ‘‘approximate solution’’) of the problem (1), (2) depending on the value of α and on the restrictions on f_0 and ϕ_{ob} . Some general solvability results for the problem concerned are presented in [1].

3. Let φ, v be an approximate solution of (1), (2) for a sufficiently small $\alpha > 0$, and let us assume that at least one of the following two conditions holds: $(\text{Ker}(CL^{-1}B) = \{0\} \text{ and } v_0 \in X_c)$ or $\text{Ker}(B^*L^{*-1}C^*) = \{0\}$. If we construct approximations $\varphi^{(n)}, v^{(n)}$ of φ and v , then the elements $\varphi^{(n)}, v^{(n)}$ can also be taken as an approximation of the original problem (1), (2). Such $\varphi^{(n)}, v^{(n)}$ can be constructed by an iterative algorithm applying (5) at the first step. The simplest iterative algorithm is as follows:

$$\Lambda_c v^{(n+1)} = \Lambda_c v^{(n)} - \tau(\alpha\Lambda_c v^{(n)} + \mathcal{A}_0 v^{(n)} - g), \quad n = 0, 1, 2, \dots, \quad (6)$$

where τ is the parameter of the iterative process. If

$$C_0(\Lambda_c v, v)_{H_c} \leq (\mathcal{A}_0 v, v)_{H_c} \leq C_1(\Lambda_c v, v)_{H_c}, \quad \tau = 2/(2\alpha + C_0 + C_1),$$

where $C_0, C_1 \geq 0$ are constants, then, according to the theory of iterative processes, we conclude that

$$(\Lambda_c(v - v^{(n)}), v - v^{(n)})_{H_c}^{1/2} \leq C\left(\frac{C_1 - C_0}{2\alpha + C_0 + C_1}\right)^n \rightarrow 0, \quad n \rightarrow \infty, \quad (7)$$

where the constant C does not depend on n .

In practice the above iterative procedure is realized in terms of the operators of the problem (4): for given $v^{(n)}$ we calculate the next approximations by solving (using classical numerical methods for "direct" problems) the following equations:

$$\begin{aligned} L\varphi^{(n)} &= f_0 + Bv^{(n)}, & L^*q^{(n)} &= C^*(C\varphi^{(n)} - \phi_{ob}), \\ \Lambda_c w^{(n)} &= B^*q^{(n)}, & v^{(n+1)} &= v^{(n)} - \tau(w^{(n)} + \alpha v^{(n)}). \end{aligned} \quad (8)$$

Using (7), the convergence results $\varphi^{(n)} \rightarrow \varphi$, $q^{(n)} \rightarrow q$ as $n \rightarrow \infty$ can also be obtained.

4. The described methodology has been applied to specific inverse problems of mathematical physics: – "data assimilation problems"; – inverse problems for the neutron transport equations ; – second order evolution equations, and others. This methodology can be used also to study and to construct algorithms for solving the inverse problems for "generalized" Stokes problem, perturbed by skew-symmetric bounded operator:

$$\begin{aligned} L\mathbf{u} \equiv A_0\mathbf{u} + A_1\mathbf{u} &= \mathbf{f}_0 + B\mathbf{v} - \nabla p \quad \text{in } D \subset R^n, & \mathbf{u}|_{\partial D} &= 0, \\ \operatorname{div}\mathbf{u} &= 0 \quad \text{in } D, & \int_D p dx &= 0, \\ C\mathbf{u} &= C\mathbf{u}_{ob}, \end{aligned} \quad (9)$$

where $A_0\mathbf{u} \equiv -a\Delta\mathbf{u} + b\mathbf{u}$, $A_1\mathbf{u} \equiv (-lu_2, lu_1, 0, \dots, 0)$, $l = l_0 + l_1x_2$, $l_0, l_1 = \text{const}$, $a = \text{const} > 0$, $b = \text{const} \geq 0$, $\mathbf{f} \in (L_2(D))^n$, $\mathbf{u} = (u_1, \dots, u_n) \in (W_2^1(D))^n$, $B\mathbf{v} \equiv m_c\mathbf{v}$, m_c is the characteristic function of a set $D_c \subset D$ with smooth boundary ∂D_c , $C\mathbf{u} = m_{ob}\mathbf{u}$, m_{ob} is the characteristic function of a set $D_{ob} \subset D$ with smooth boundary ∂D_{ob} , \mathbf{f}_0 , \mathbf{u}_{ob} are given functions, while \mathbf{v} is the additional unknown.

Let us introduce the following spaces: $W \equiv \{\mathbf{u} \in (W_2^1(D))^n : \operatorname{div}\mathbf{u} = 0 \text{ in } D, \mathbf{u}|_{\partial D} = 0\}$, $H_c \equiv L_2(D)/R$, $H_{ob} \equiv (L_2(D))^n$, X_c is the completion of W with respect to the norm $\|\mathbf{v}\|_{(L_2(D))^n}$ and we assume that $D(L) \equiv D(C) \equiv W$, $D(B) \equiv X_c$, then the problem (9) can be written in the form (1),(2) :

$$L\mathbf{u} = \mathbf{f}_0 + B\mathbf{v} - \nabla p, \quad C\mathbf{u} = \phi_{ob}, \quad \int_D p dx = 0, \quad (10)$$

where $\phi_{ob} \equiv C\mathbf{u}_{ob}$, $L : W \rightarrow W^*$, $B : X_c \rightarrow W^*$, $C : W \rightarrow H_{ob}$. Here, the properties of the operators $\mathcal{A}_l \equiv CL^{-1}B$, $\mathcal{A}_l^* = B^*L^{*-1}C^*$ depend of relations between D_c and D_{ob} .

Proposition 1: *The following assertions are valid: (1) If $\text{mes}(D_c \cap D_{ob}) = \{0\}$, then $\dim(\text{Ker}(\mathcal{A}_l)) = \dim(\text{Ker}(\mathcal{A}_l^*)) = \infty$. (2) If $D_c \subset D_{ob} = D$, then $\text{Ker}(\mathcal{A}_0) =$*

$= \{0\}$ and $\dim (\text{Ker}(\mathcal{A}_l^*)) = \infty$. (3) If $(D_{ob} \cup \partial D_{ob}) \subset D_c \subset D$, then $\dim (\text{Ker}(\mathcal{A}_l)) = \infty$ and $\text{Ker}(\mathcal{A}_l^*) = \{0\}$. (4) If $D_{ob} = D_c$, then $\text{Ker}(\mathcal{A}_l) = \text{Ker}(\mathcal{A}_l^*) = \{0\}$.

Using the assertions of the Proposition and the optimal control methods the solvability results for the problem (10) can be formulated and convergence results for the iterative process (8) for solving (10) can be investigated.

5. The optimal control methods can be applied also to study and to construct algorithms for solving "direct" problems of the mathematical physics [1, 4].

Let us consider the problem (9) and the iterative process (8) for solving this problem. At each step of this process the "generalized" Stokes problem perturbed by the skew-symmetric bounded operator

$$\begin{aligned} L\mathbf{u} \equiv -a\Delta\mathbf{u} + b\mathbf{u} + A_1\mathbf{u} = \mathbf{f} - \nabla p \quad \text{in } D \subset R^n, \quad \mathbf{u}|_{\partial D} = 0, \\ \text{div}\mathbf{u} = 0 \quad \text{in } D, \quad \int_D p dx = 0, \end{aligned} \quad (11)$$

(for given \mathbf{f}) should be solved. At first, let us regard (11) as an inverse problem for \mathbf{u} and an "additional unknown" $p \equiv v$:

$$L\mathbf{u} = \mathbf{f} + Bv, \quad C\mathbf{u} = 0, \quad \int_D p dx = 0, \quad (12)$$

where $Bv \equiv -\nabla v$, $C\mathbf{u} \equiv \text{div}\mathbf{u}$, and $L : W \equiv (\overset{\circ}{W}_2^1(D))^n \rightarrow W^*$, $B : H_c \equiv L_2(D)/R \rightarrow W^*$, $C : W \rightarrow L_2(D) \equiv H_{ob}$. The weak statement of the problem (12) belongs to the class of problems of form

$$L\mathbf{u} = \mathbf{f} + Bv, \quad \alpha\|v\|_{W_2^k(D)}^2 + \|C\mathbf{u}\|_{L_2(D)}^2 = \inf_v, \quad k = 0, 1, \quad (13)$$

where $\alpha \geq 0$. One can prove that for (13) the following assertion takes place:

Proposition 2: *The spectrum of the operator $(\alpha I + \mathcal{A}_0)$ is from $[C_0, C_1]$, where constants C_0, C_1 are positive and bounded for any $\alpha \geq 0$ and the estimates for these constants can be written in explicit form and they depend on $a, b, \|l\|_{C(D)}$ and on the geometry of D . Therefore, to construct an approximation to the solution of (11) algorithms of the form (8) may be used.*

Note that to realize these algorithms for the problem (11) we need to solve the simplest elliptic problem (without the condition $\text{div}\mathbf{u} = 0$ that constitutes one of the difficulties in solving problems of the form (11)). The algorithms and numerical results for (11) with $l = 0$ are considered in [4]. In particular, it has been proved that, if $b = 0, l = 0$ (i.e., the classical Stokes problem is considered), then for $\alpha = 0$ the rate of convergence of the approximate solution $\mathbf{u}^{(n)}, p^{(n)} \equiv v^{(n)}$ to the exact

solution of (11) does not depend on a , but depends on the geometry of D . The case of (11) corresponding to the value $b \neq 0$ or $l \neq 0$ can be considered also.

6. The results described in previous sections show that the methodology, of investigation and solution of inverse problems, presented above does not need explicit forms of the operators $L^{-1}, (L^*)^{-1}$. This methodology may be used to investigate and solve some boundary value problems of general form: $L(\varphi, v) = 0, C\varphi = \phi_{ob}$, with a nonlinear state equation, and to other nonlinear inverse problems of the general form.

Список литературы

- [1] *Agoshkov V.I.* Optimal control methods in inverse problems and computational processes // J.Inv. Ill-Posed Problems. Vol.9, No.3. P.205-218 (2001).
- [2] *Agoshkov V.I.* Control theory approaches in: data assimilation processes, inverse problems and hydrodynamics // Comput. Math. Appl. (Hellenic Math. Soc., Athens) (1994) **1**, 21–39.
- [3] *Agoshkov V.I., Bardos C.* Optimal control approach in inverse radiative transfer problems: the problem on boundary function // ESAIM: Control, Optimization and Calculus of Variations. 2000. Vol.5. P.259–278.
- [4] *Agoshkov V.I., Bardos C., Buleev S.N.* Solution of the Stokes Problem as an Inverse Problem // Preprint No. 9935. Centre de Mathematiques et Leuers Applications, E.N.S. de Cachan, Cachan, France (1999).
- [5] *Agoshkov V.I., Bardos C., Parmuzin E.I., Shutyaev V.P.* Numerical Analysis of Iterative Algorithms for an Inverse Boundary Transport Problem // Preprint No. 9812. Centre de Mathematiques et Leuers Applications, E.N.S. de Cachan, Cachan, France (1998).

Solvability and numerical solution of variational data assimilation problems

Consider the following evolution problem:

$$\begin{cases} \frac{d\varphi}{dt} + A(t)\varphi + \tau F(\varphi) = f(t), & t \in (0, T) \\ \varphi(0) = u, \end{cases} \quad (1)$$

where $A(t)$ is a linear operator generated by a coercive bilinear form, $F(\varphi)$ is a nonlinear Frechet differentiable operator, f, u are given functions, $T < \infty$. Introduce a functional of u of the form:

$$S(u) = \frac{\alpha}{2} \|u - \hat{\varphi}^o\|^2 + \frac{1}{2} \|B\varphi - \hat{\varphi}\|_Z^2, \quad (2)$$

where $\alpha = const \geq 0$, Z is a Hilbert space (observational space), B is a linear bounded operator, $\hat{\varphi}, \hat{\varphi}^o$ are given functions.

Consider the following *data assimilation problem*: for given $f, \hat{\varphi}, \hat{\varphi}^o$, find u, φ such that (1) is satisfied and the functional (2) attains its minimum value on the set of solutions of equation (1).

The necessary optimality condition reduces this problem to the system for finding the functions φ, φ^*, u of the form:

$$\frac{d\varphi}{dt} + A(t)\varphi + \tau F(\varphi) = f, \quad t \in (0, T); \quad \varphi(0) = u, \quad (3)$$

$$-\frac{d\varphi^*}{dt} + A^*(t)\varphi^* + \tau (F'(\varphi))^* \varphi^* = C\hat{\varphi} - K\varphi, \quad t \in (0, T); \quad \varphi^*(T) = 0, \quad (4)$$

$$\alpha(u - \hat{\varphi}^o) - \varphi^*(0) = 0, \quad (5)$$

where $(F'(\varphi))^*$ is the operator adjoint to the Frechet derivative of F at the point φ , $A^*(t)$ is adjoint to $A(t)$, and K, C are linear bounded operators, $K = CB$.

For $\tau = 0$, the problem (3)–(5) is reduced to to the equation for the control u :

$$Lu = P,$$

where L is the so-called *control operator*, and P the right-hand side defined by $f, \hat{\varphi}, \hat{\varphi}^o$.

We study the properties of the control operator L , obtain the spectrum bounds of L , and prove the solvability of linear and nonlinear problem (3)–(5) in specific functional spaces.

To solve (3)–(5) numerically, the successive approximation method is formulated and justified. Each step of this method involves a linear data assimilation problem of the form (3)–(5) for $\tau = 0$. To solve it we consider a class of iterative algorithms:

$$\frac{d\varphi^k}{dt} + A(t)\varphi^k = f, \quad t \in (0, T); \quad \varphi^k(0) = u^k, \quad (6)$$

$$-\frac{d\varphi^{*k}}{dt} + A^*(t)\varphi^{*k} = C\hat{\varphi} - K\varphi^k, \quad t \in (0, T); \quad \varphi^{*k}(T) = 0, \quad (7)$$

$$u^{k+1} = u^k - \alpha_{k+1}B_k(\alpha(u^k - \hat{\varphi}^o) - \varphi^{*k}|_{t=0}) + \beta_{k+1}C_k(u^k - u^{k-1}), \quad (8)$$

where B_k, C_k are some linear operators, and α_k, β_k the iterative parameters.

Based on the properties of the control operator L , the convergence theorems for different cases are proved with optimal choice of parameters α_k, β_k .

The numerical analysis of the above-formulated iterative algorithms is presented for the data assimilation problems with linear and nonlinear parabolic state equations. The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 01-01-00928).

Г.М. Кобельков

Численные методы для уравнений Навье–Стокса

1. Для системы параболических уравнений

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_t - \nu \Delta \mathbf{v} - \frac{1 + \gamma}{\varepsilon} \nabla \operatorname{div} \mathbf{v} + \nabla q + v_k \mathbf{v}_{x_k} &= 0, \\ \varepsilon^2 q_t + \varepsilon q - \operatorname{div} \mathbf{v} &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\mathbf{v}(x, 0) = \mathbf{u}_0(x), \quad q(x, 0) = 0, \quad \mathbf{v}(x, t) = 0 \quad \text{при } x \in \partial\Omega,$$

аппроксимирующих нестационарную систему уравнений Навье–Стокса с начальным условием \mathbf{u}_0 , $\operatorname{div} \mathbf{u}_0 = 0$ при естественных предположениях относительно коэффициента вязкости, области и нормы начального условия, обеспечивающих существование и единственность решения задачи "в целом", доказана

сходимость решения задачи (1) к решению нестационарной системы уравнений Навье–Стокса на бесконечном промежутке времени. А именно, при $\gamma > 0$ имеет место оценка

$$\max_t \|\mathbf{v}(t) - \mathbf{u}(t)\|^2 + \int_0^\infty \|\mathbf{v}(t) - \mathbf{u}(t)\|_1^2 dt + \varepsilon \int_0^\infty \|q'(t) - p(t)\|^2 dt \leq c\varepsilon^2,$$

где $q' = -\frac{1 + \gamma}{\varepsilon} \operatorname{div} \mathbf{v} + q$.

2. Для нестационарной системы уравнений Навье–Стокса исследована эффективность применения схемы расщепления Гловинского, которая имеет второй порядок аппроксимации по t . Для решения обобщенной задачи Стокса на первом и третьем шагах схемы был исследован метод Кобелькова и Ольшанского, скорость сходимости которого не зависит от большого параметра ($1/\tau$, τ — шаг по времени), входящего в задачу. Для решения нелинейной системы параболических уравнений на втором шаге схемы исследовалась возможность применения метода В.И.Лебедева численного интегрирования жестких систем ОДУ. Проведенные тесты на модельных задачах показали эффективность такого подхода по сравнению с традиционным.

Е.В. Чижонков

Стабилизация неустойчивых решений уравнения Чафе–Инфанта

Задачи управления решениями дифференциальных уравнений в частных производных относятся к числу сложных проблем, для которых теоретическая разработка основ еще далека от завершения. Частным случаем управления является стабилизация некоторого начального условия к известному стационарному решению. В работе [1] был предложен подход к построению краевых условий, которые могут обеспечить этот результат с заданной скоростью стремления. Доклад посвящен разработке и анализу дискретного (приближенного) аналога метода стабилизации.

В качестве тестового для разработки алгоритма рассматривалось уравнение Чафе–Инфанта (Chafee–Infante)

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + a u - b u^3, \quad a \geq 0, b \geq 0,$$

в области $D = \{(x, t) : |x| < \pi/2, t > 0\}$, имеющее неустойчивое стационарное решение $u_s(x) = 0$.

Для него были последовательно реализованы все этапы алгоритма: продолжение начального условия $u(x, 0)$ на более широкий интервал $[\pi, \pi]$ (результат — функция $v(x, 0)$), проектирование продолженного условия на устойчивое многообразие (результат — функция $z(x, 0)$), численное интегрирование нестационарной задачи с полученной начальной функцией $z(x, 0)$, сужение полученного решения на границу исходной области (результат — функции $\mu_{\pm}(t) = z(\pm\pi/2, t)$) и собственно стабилизация — численное решение уравнения в исходной области с исходным начальным $u(x, 0)$ и полученными краевыми $\mu_{\pm}(t)$ условиями.

Была изучена также зависимость спектрального числа обусловленности матрицы проектирования от величины области продолжения начального условия и размерности устойчивого линейного многообразия.

На основании проведенных численных экспериментов можно сделать вывод о принципиальной работоспособности алгоритма стабилизации при очень больших вычислительных затратах (по сравнению с обычным интегрированием параболических задач).

Список литературы

- [1] Фурсиков А.В. Стабилизация квазилинейного параболического уравнения по граничным условиям с обратной связью // Матем. сборник. 2001. Т. 192, N 4. С. 115–160.

С.Л. Ставцев

Математическое моделирование трехмерных граничных задач фильтрации о дебите системы несовершенных скважин в неоднородных средах

В течение этого года решена задача по расчёту поля скоростей течения жидкостей в кусочно-неоднородных средах. Рассматривалось потенциальное течение жидкости; потенциал течения удовлетворяет уравнению $\nabla(K_M \cdot \nabla\varphi_M) = 0$, где K_M — характеристика среды. Задача сводится к системе сингулярных и гиперсингулярных интегральных уравнений. Гиперсингулярное интегральное

уравнение решалось методом замкнутых дискретных вихревых рамок, обобщённым на случай неоднородных сред. Была проведена регуляризация гиперсингулярного интегрального уравнения.

Были созданы новые математические модели фильтров скважин. При этом использовались интегральные уравнения с обобщёнными функциями в правой части. Полученные уравнения решались численно с помощью метода дискретных особенностей.

Ю.В. Василевский

Разработка технологии параллельного решения трехмерных сеточных эллиптических задач на неструктурированных сетках

Технология адаптивного параллельного решения эллиптических задач на неструктурированных сетках включает в себя следующие не зависящие друг от друга ингредиенты: параллельное вычисление некоторой метрики на основе заданного кусочно-линейного решения, параллельная генерация сетки, которая является квазиравномерной в этой метрике, и параллельное решение краевой задачи на сгенерированной сетке. Параллелизация итерационного решения представляет собой сложную вычислительную проблему. Требования к итерационному решению — асимптотическая арифметическая оптимальность одной итерации, параллельная эффективность и ускорение, а также независимость числа итераций от порядка алгебраической системы и "плохих" параметров системы, таких как величина коэффициентов диффузии и конвекции и т.п.

Предлагаемая технология основана на двух предположениях: 1) исходную сетку можно эффективно разрезать на минимально налегающие друг на друга подсетки с примерно равным числом узлов, 2) на каждой из подсеток (сеточных подобластей) доступен эффективный последовательный переобусловливатель для соответствующего диагонального блока матрицы жесткости. Переобусловливатель для глобальной матрицы жесткости оценивается в два этапа: 1) решается система с блочно-диагональным переобусловливателем и вычисляется невязка, 2) невязка проецируется на интерфейсное пространство (агрегируется), переобусловливается в этом пространстве, дизагрегируется и подправляет результат блочно-диагонального переобусловливания. Интерфейсное пространство сохраняет все степени свободы исходного сеточного пространства,

связанные с узлами зоны налегания сеточных подобластей, и заменяет все внутренние степени свободы в каждой сеточной подобласти на одну (среднее, или агрегированное, значение). Переобусловливание в интерфейсном пространстве осуществляется с помощью блочного метода верхней релаксации, который легко параллелизуется. Разработанный пакет программ удалось применить для диффузионных и конвективно-диффузионных задач в трехмерных областях с входящими углами, для стационарных задач Стокса и Озейна.

С точки зрения анализа итерационного алгоритма, удалось показать нечувствительность скорости сходимости к сильному изменению коэффициента диффузии (возможно гетерогенное поведение) в зоне внутренних границ и слабую зависимость от шага сетки:

$$\text{cond}(BA) \leq 2 \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \left(1 + 2C \max_{1 \leq i \leq m} \left(\frac{\rho_{2,i}}{\rho_{1,i}} \right) \frac{H}{\delta} \right).$$

Здесь $\text{cond}(BA)$ обозначает число обусловленности переобусловленной матрицы жесткости, H — диаметр подобластей, δ — ширина налегания областей друг на друга (в данном подходе равна локальному шагу сетки), $[\rho_{1,i}, \rho_{2,i}]$ — интервал перепада диффузионного коэффициента вне зоны налегания подобластей, $[\alpha_1, \alpha_2]$ — интервал, содержащий спектр переобусловленных подзадач (в подобластях и на интерфейсе).

Т. Е. Санникова

Возрастные изменения иммунной системы и неблагоприятные исходы инфекционных заболеваний

Цель работы — описать зависимость смертности в результате инфекционных заболеваний от возраста. Возрастные изменения иммунной системы сопровождаются инволюцией тимуса и, как следствие этого, уменьшением концентрации наивных Т-лимфоцитов в пуле периферических Т-лимфоцитов и увеличением концентрации клеток памяти. В статье [1] рассматривается предположение о том, что концентрация наивных Т-лимфоцитов является биомаркером старения иммунной системы, и вероятность дожития строится как функция от концентрации наивных Т-лимфоцитов. В данной работе был проведен анализ демографических данных по смертности от инфекционных заболеваний [2] и показано, что часто причиной смерти в старших возрастах служат знакомые

инфекции (например, пневмония), в подавлении которых большую роль играют клетки памяти. При помощи базовой модели инфекционного заболевания [3] промоделировано течение пневмонии для разных возрастов. Для этого была введена зависимость начальных условий и константы скорости иммунного ответа от решения модели возрастных изменений в популяции периферических лимфоцитов [4]. Зависимость константы скорости пролиферации лимфоцитов в ходе иммунного ответа α имеет следующий вид:

$$\alpha(\tau) = \alpha_0 \frac{\begin{array}{c} \text{пролиферативный потенциал} \\ \text{наивных Т лимфоцитов} \\ \text{в возрасте } \tau \end{array} + \begin{array}{c} \text{пролиферативный потенциал} \\ \text{специфических клеток памяти} \\ \text{в возрасте } \tau \end{array}}{\begin{array}{c} \text{исходный пролиферативный потенциал} \\ \text{периферических Т лимфоцитов} \end{array}} = \\ = \alpha_0 \frac{k_1(P_N(\tau) - H)N(\tau) + \chi k_2(P_M(\tau) - H)M(\tau)}{k_1(P_N^0 - H)N^0 + \chi k_2(P_M^0 - H)M^0},$$

где τ — возраст, N и M — концентрации наивных Т-лимфоцитов и клеток памяти, P_N и P_M — длина теломеров наивных Т-лимфоцитов и клеток памяти соответственно. Для каждого возраста определялась тяжесть заболевания. В старших возрастах тяжесть растет. Было исследовано влияние параметра антигенной нагрузки на скорость роста тяжести заболевания с возрастом. С использованием клинических данных об увеличении риска гибели при значительных повреждениях органа-мишени построена кривая зависимости вероятности смерти от пневмонии от возраста для Японии, США, Италии, Болгарии и Англии.

Список литературы

- [1] *Mariani L., Turchetti G., Franceschi C.* Chronic antigenic stress, immunosenescence and human survivorship over the 3 last centuries: heuristic value of a mathematical model. *Mechanisms of Ageing and Development*, 2003 (in press).
- [2] База данных ВОЗ по причинам смерти, продолжительности жизни и возрастной смертности. <http://www.who.int/research/>
- [3] *Марчук Г.И.* Математические модели в иммунологии. Вычислительные методы и эксперименты. — М.: Наука, 1991.

- [4] *Romanioukha A.A., Yashin A.I.* Age Related Changes in Population of Peripheral T-cells: Towards a Model of Immunosenescence // Mechanisms of Ageing and Development, 2003, (in press).

2. Моделирование глобальных изменений природной среды и климата

В.П. Дымников

**Диссипационно-релаксационные соотношения
для динамико-стохастических уравнений с периодически
зависящими от времени коэффициентами и диссипативных систем
со случайным форсингом**

Рассмотрим линейное динамико-стохастическое уравнение

$$\frac{dy}{dt} + A(t)y = N(t)w(t), \quad (1)$$

$$y|_{t=t_0} = 0,$$

где

$$A(t+T) = A(t), \quad N(t+T) = N(t),$$

$w - \delta$ – коррелированный по времени гауссовый процесс.

Утверждение 1.

Если в системе (1) $N(t) = L(t)$, $L(t)$ – матрица Ляпунова $A(t)$, то функцию Грина системы (1) можно выразить через статистические характеристики процесса $y(t)$.

Утверждение 2.

Процесс $y(t)$ циклостационарен, если процесс $x(t) : x(t) = L^{-1}(t)y(t)$ стационарен.

Рассмотрим далее нелинейную диссипативную систему со случайным форсингом:

$$\frac{du_i}{dt} = F_i(u) + w_i, \quad i = \overline{1, N}, \quad (2)$$

$$\sum \frac{\partial F_i}{\partial u_i} < 0,$$

$w_i - \delta$ – коррелированный по времени гауссов случайный процесс.

Утверждение 3.

Если систему (2) возмутить детерминированным малым форсингом δf , то для усреднённого по ансамблю возмущения δu_i можно написать приближённую (с точностью до членов второго порядка малости) формулу

$$\langle \delta u_i(t) \rangle = \sum_j \int_0^t \langle G_{ij}(t, t') \rangle \delta f_j \cdot dt',$$

где

$$\langle G_{ij}(t, t') \rangle = \langle u_i(t) \cdot \frac{1}{\rho(u)} \frac{\partial \rho(u)}{\partial u_j}(t') \rangle,$$

а $\rho(u)$ – есть решение стационарного уравнения Фоккера-Планка

$$\sum \frac{\partial}{\partial u_i} F_i \cdot \rho(u) = D \sum_i \frac{\partial^2 \rho(u)}{\partial u_i^2}.$$

Список литературы

- [1] Дымников В.П. Диссипационно-флуктуационные соотношения для динамико-стохастических уравнений с периодически зависящими от времени коэффициентами и диссипативных систем со случайным форсингом // Изв. РАН. ФАиО. 2002. № 6.

А.А. Корнев

Глобальная устойчивость полудинамических систем

Рассматривается проблема построения глобально устойчивых аппроксимаций (позволяющих проводить расчеты с требуемой точностью на произвольно большом промежутке времени) для диссипативных нестационарных задач математической физики, в частности для уравнений Навье–Стокса. В общем виде данная задача сводится к вопросу устойчивости аттрактора соответствующей полудинамической системы (ПДС) и эквивалентна, в некотором смысле, исследованию функции $\Psi(t)$ скорости притяжения к аттрактору. Априорные оценки для $\Psi(t)$ удастся построить на основе общей теории неустойчивых многообразий только для задач с "хорошей" функцией Ляпунова и конечным числом,

возможно, негиперболических точек. В работе предложен конструктивный метод получения численных оценок для функции $\Psi(t)$. Алгоритм заключается в нахождении подпространств, отвечающих нулевым (либо ближайшим к нулю) глобальным показателям Ляпунова и дополнительной их классификации на полиномиально (либо экспоненциально) сжимающие и растягивающие слои. В качестве примера рассмотрен вопрос о единственности стационарного решения для уравнений Навье–Стокса в задаче о двумерной каверне при средних (до 1000) числах Рейнольдса.

Получены условия существования устойчивого многообразия в окрестности стационарной негиперболической точки. Показано, что для существования многообразия достаточно, чтобы в окрестности стационарной точки исходное пространство разлагалось в прямую сумму двух подпространств таких, что на одном подпространстве главная часть оператора задачи (возможно нелинейная) являлась слабо сжимающей, а на другом не сжимающей. Дополнительно требуется некоторая подчиненность членов оператора более высокого порядка малости на точках *специального* вида. Результат является дополнением к лемме Адамара–Перрона. Устойчивое многообразие играет важную роль при исследовании глобально устойчивых аппроксимаций. Отметим, что задача стабилизации неустойчивого решения уравнений Навье–Стокса, в том числе в трехмерном случае, эффективно решается с помощью устойчивого многообразия.

Список литературы

- [1] *Корнев А.А.* К общей теории устойчивости динамических систем // ДАН. 2002. Т.387, № 1.
- [2] *Kornev A.A.* On globally stable dynamic process// Rus. J. Num. Anal. Math. Modelling. 2002. V. 17. N 5. P. 427–436.
- [3] *Корнев А.А.* Некоторое дополнение к лемме Адамара–Перрона (сдано в печать).

А.И. Ноаров

Проблема построения функционала (оператора) отклика для динамических систем, возмущенных шумом

Динамической системе

$$x' = f(x) \quad (1)$$

($f(x)$ — векторное поле в R^n) поставим в соответствие нормированное решение u_f стационарного уравнения Фоккера–Планка–Колмогорова

$$\Delta u_f - \operatorname{div}(u_f f) = 0. \quad (2)$$

Функция u_f , удовлетворяющая уравнению (2) на всем пространстве R^n , представляет собой плотность инвариантной меры системы (1), возмущенной шумом.

В докладе ставится задача исследования изменения инвариантной меры в ответ на малое изменение векторного поля $f(x)$. Точнее, исследуется не сама плотность u_f , а функционал от неё вида

$$\Phi(u_f) = \int_{R^n} \Phi(x) u_f(x) dx_1 \dots dx_n,$$

где $\Phi(x)$ — некоторая функция. Примером такого функционала может служить среднее значение или некоторый момент одной из переменных.

Наряду с системой (1) введем систему с измененной на $\delta f(x)$ правой частью: $x' = f(x) + \delta f(x)$. Этой системе также поставим в соответствие нормированное решение $u_{f+\delta f}$ уравнения типа (2):

$$\Delta u_{f+\delta f} - \operatorname{div}(u_{f+\delta f}(f + \delta f)) = 0.$$

Рассмотрим приращение функционала в ответ на приращение векторного поля $\delta\Phi = \Phi(u_{f+\delta f}) - \Phi(u_f)$. Нас интересует зависимость $\delta\Phi$ от δf при малых δf . Предположив, что такая зависимость линейна и дается формулой

$$\delta\Phi \cong \int_{R^n} (F(x), \delta f(x)) dx_1 \dots dx_n,$$

поставим задачу вычисления векторного поля $F(x)$ для динамической системы (1) и функции $\Phi(x)$. Это векторное поле является оптимальным (при некоторых ограничениях) возмущением правой части системы (1), приводящим к наибольшему росту функционала Φ .

В докладе описывается приближенное решение поставленной задачи. Точно решается другая задача, полученная из исходной заменой стационарного решения u_f на конечномерное приближение к нему, вычисленное проекционным

методом, изложенным в [1] и [2]. Возникающая при этом математическая проблема может быть сформулирована следующим образом. Пусть $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k$ — векторы евклидова пространства, а φ — проекция вектора φ_0 на ортогональное дополнение к линейной оболочке системы $\{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k\}$. Как изменится вектор φ (или некоторый функционал от него) при малом возмущении векторов $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k$? Ответ на этот вопрос дает следующая

Теорема. Пусть E — евклидово пространство, $\varphi_0 \in E$, $\psi \in E$, $\varphi_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots, k$) — вектор-функции, определенные в некоторой окрестности нуля со значениями в E и сильно дифференцируемые в нуле, а система $\{\varphi_1(0), \varphi_2(0), \dots, \varphi_k(0)\}$ — линейно независима. Пусть $\varphi(t)$ — ортогональная проекция элемента φ_0 на ортогональное дополнение к линейной оболочке системы $\{\varphi_1(t), \varphi_2(t), \dots, \varphi_k(t)\}$. Пусть матрица $\|A_{ij}\|_{i,j=1}^k$ такова, что система $\{\Psi_i\}_{i=1}^k$, вычисленная по формулам

$$\Psi_i = \sum_{j=1}^k A_{ij} \varphi_j(0), \quad i = 1, 2, \dots, k,$$

ортонормированная. Тогда числовая функция $(\Psi, \varphi(t))$ дифференцируема в нуле и ее производная в нуле дается формулой

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}(\Psi, \varphi(t))_{t=0} = & - \sum_{i=1}^k (\varphi_0, \Psi_i) \left(q, \sum_{j=1}^k A_{ij} d \varphi_j(0) / dt \right) - \\ & - \sum_{i=1}^k (\psi_0, \Psi_i) \left(p, \sum_{j=1}^k A_{ij} d \varphi_j(0) / dt \right), \end{aligned}$$

где p и q — ортогональные проекции векторов φ_0 и Ψ соответственно на ортогональное дополнение к линейной оболочке системы $\{\varphi_1(0), \varphi_2(0), \dots, \varphi_k(0)\}$.

Теорема устанавливает связь между вариацией проекции φ (точнее, функционала от нее вида Ψ, φ) и вариацией векторов $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k$. Эту связь можно выразить символическим равенством

$$\begin{aligned} \delta \Phi = (\Psi, \delta \varphi) = & - \sum_{i=1}^k (\varphi_0, \Psi_i) \left(q, \sum_{j=1}^k A_{ij} \delta \varphi_j \right) - \\ & - \sum_{i=1}^k (\psi_0, \Psi_i) \left(p, \sum_{j=1}^k A_{ij} \delta \varphi_j \right). \quad (3) \end{aligned}$$

Строгое толкование равенства (3), а также символов $\delta \Phi$, $\delta \varphi_j$, имеющих смысл вариаций — "малых" приращений, содержится в формулировке теоремы.

На основе доказанной теоремы и соотношения (3) построен алгоритм (приближенного) вычисления векторного поля $F(x)$, т.е. функционала отклика для

системы (1), возмущенной шумом. Алгоритм реализован на ЭВМ в двумерном и трехмерном случае. Проведены расчеты функционалов отклика для систем (1), представляющих собой трехмодовые гидродинамические модели.

Список литературы

- [1] *Ноаров А.И.* Об одном достаточном условии существования стационарного решения уравнения Фоккера–Планка // *Ж. вычисл. матем. и матем. физ.* 1997. Т.37. №5. С.587-598.
- [2] *Ноаров А.И.* Численное исследование уравнения Фоккера–Планка // *Ж. вычисл. матем. и матем. физ.* 1999. Т.39. №8. С.1337-1347.

В.Н. Лыкосов, Е.Е. Мачульская

О параметризации криосферных процессов в глобальных моделях климата

В работе [1] описана модель общей циркуляции атмосферы, разработанная в Институте вычислительной математики РАН, с помощью которой, по-видимому, впервые удалось воспроизвести географическое распределение вечной мерзлоты, используя интерактивное описание процессов тепловлагопереноса в системе "атмосфера - снег - почва" на основе одномерной модели [2]. В работах [3,4] эта одномерная модель получила дальнейшее развитие за счет более точного учета процессов в снежном покрове (например, фазовых переходов влаги при просачивании дождевой и талой влаги, уплотнения снежного покрова вследствие гравитационного оседания и метаморфизма) и в вечномерзлых грунтах.

Результаты, представленные в данной работе, относятся к численному экспериментированию с новой версией модели общей циркуляции атмосферы ИВМ РАН. Одной из главных ее черт является учет характерной для условий холодного климата особенности, связанной с наличием в системе всех трех состояний влаги (вода, лед и пар) и фазовых переходов между ними — как в почве (включая вечномерзлые грунты), так и в снежном покрове.

С исходной и новой версиями модели общей циркуляции атмосферы были проведены численные эксперименты по сценарию АМIP-2: температура поверхности океана и распределение морских и континентальных льдов заданы в соответствии с наблюдаемыми в период с 1979 по 1996 г. Для сравнения результатов

модельных расчетов с наблюдениями использовались данные реанализа NCEP [5].

Расчеты показали, что в среднем водноэквивалентная толщина снежного покрова, полученная с помощью новой версии модели, возросла, причем различия достигают величины 4 см в средних широтах Северной Америки и 2 см — в высоких широтах Евразии. Это сказывается как на термических характеристиках подстилающей поверхности, так и на динамике всей атмосферы. Географические распределения систематических ошибок в среднезимнем (декабрь – январь – февраль) поле давления на уровне моря (разность между рассчитанным как среднее за 17 лет и полученным из данных наблюдений климатическим полем) показали, что лучше стали воспроизводиться такие особенности зимней циркуляции, как Алеутский минимум и Сибирский антициклон. Вместе с тем, ошибка воспроизведения поля давления над Антарктидой возросла.

Особый интерес представляет приземная температура над сушей высоких широт, которая может рассматриваться как интегральная характеристика процессов тепловлагопереноса в системе "атмосфера – снег – почва". Проведенные модификации "снежного" блока модели проявляются наиболее ярко, в основном в переходные (весенний и осенний) сезоны.

Список литературы

- [1] *Алексеев В.А., Володин Е.М., Галин В.Я., Дымников В.П., Лыкосов В.Н.* Моделирование современного климата с помощью атмосферной модели ИВМ РАН. Описание модели А5421 версии 1997 года и результатов экспериментов по программе AMIP-II. — М.: ИВМ РАН. Деп. в ВИНТИ. № 2086-В98, 1998. 225 с.
- [2] *Володин Е.М., Лыкосов В.Н.* Параметризация процессов тепло- и влагообмена в системе растительность – почва для моделирования общей циркуляции атмосферы. Описание и расчеты с использованием локальных данных наблюдений // Известия АН. Физика атмосферы и океана. 1998. Т.34. С.453–465.
- [3] *Володина Е.Е., Бенгтссон Л., Лыкосов В.Н.* Параметризация процессов тепловлагопереноса в снежном покрове для целей моделирования сезонных вариаций гидрологического цикла суши // Метеорология и гидрология. 2000. N 5. С. 5–14.

- [4] *Мачульская Е.Е., Лыкосов В.Н.* Моделирование термодинамической реакции вечной мерзлоты на сезонные и межгодовые вариации атмосферных параметров // Известия АН. Физика атмосферы и океана. 2002. Т. 38. С.20–33.
- [5] *Kalnay E., Kanamitsu M. et al.* The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project// Bull. Am. Meteorol. Soc. 1996. V. 77. P.437–471.

В.Я. Галин

Опыт тестирования атмосферной модели ИВМ РАН динамикой озона

Прошедший год был отмечен буквально грандиозным успехом в работе над климатической моделью ИВМ РАН. Было хорошо известно, что модель очень хорошо воспроизводит среднее состояние атмосферы, но занижает изменчивость турбулентных потоков импульса, тепла и влаги, особенно в верхних слоях атмосферы. Еще более значительный недостаток модели открылся при попытке воспроизведения сезонного хода общего содержания озона (ОСО) при включении в модель динамики озона. Оказалось, что картина изменений зонально-осредненных полей ОСО почти одинакова для северного и южного полушарий, что далеко не так для реальной атмосферы. Такие особенности модели, как было установлено экспериментами, происходили оттого, что в качестве исходной системы дифференциальных уравнений модели изначально были выбраны уравнения в форме Громеки–Лэмба. Эта форма записи уравнений обладает такими замечательными свойствами, как сохранение полной энергии и энстрофии в приближении мелкой воды. Однако при этом не выполняется закон сохранения углового момента. Переход к адвективной форме записи исходных уравнений и к соответствующим разностным уравнениям позволил избавиться от отмеченных выше недостатков. Хотя в новой схеме уже нет каких-либо интегральных законов сохранения, но систематическое несохранение энергии и углового момента невелико. Модель стала показывать хорошее согласие полей изменчивости ОСО с наблюдаемыми полями, полушария стали существенно отличаться в смысле распределения ОСО, увеличились изменчивости турбулентных потоков. Циркуляция над полярными областями приобрела реальные черты. В целом можно сказать, что достигнут значительный успех, который уже оказал и еще окажет определяющее влияние на работы по моделированию

распределения озона в атмосфере. Опыт тестирования модели динамикой озона оказался весьма удачным, поэтому можно предположить, что он будет полезен многим разработчикам моделей.

Е.М. Володин

Создание новой версии совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана

Был усовершенствован атмосферный блок совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана. В стандартной версии модели уравнения гидротермодинамики записаны в форме Громеки–Лэмба и аппроксимируются конечно-разностной схемой, сохраняющей энергию и энстрофию в приближении мелкой воды. Однако эта схема не сохраняет угловой момент и при некоторых условиях систематическое несохранение становится существенным и влияет на климат модели. Новая конечно-разностная схема аппроксимирует уравнения в адвективной форме и формально не имеет ни одного точного закона сохранения. Тем не менее систематическое несохранение углового момента в этой схеме меньше, что позволяет лучше воспроизводить климатическое состояние атмосферы, в первую очередь синоптическую изменчивость в средних широтах.

Изменения были внесены и в расчет облачности. Введена зависимость радиуса облачных капель от температуры, что позволило получить более правильный радиационный баланс на поверхности океанов. С новой версией совместной модели проведен расчет на 80 лет по моделированию современного климата, а также расчет по моделированию глобального потепления при увеличении содержания углекислого газа по сценарию, предложенному в международной программе по сравнению совместных моделей СМIP. По сравнению с предыдущей версией значительно улучшилось воспроизведение температуры тропосферы, в том числе и температуры поверхности, а также статистики Эль-Ниньо.

Анализ расчета по моделированию глобального потепления показал, что повышение среднеглобальной температуры поверхности при удвоении содержания углекислого газа составляет в модели 1.0 градуса. В среднем по моделям СМIP эта величина равна 1.7 градуса (от 1.0 до 3.0 в различных моделях). Таким образом, чувствительность модели ИВМ является одной из самых низких. Предположительной причиной малой чувствительности модели является учет зависимости балла нижней облачности от вертикального профиля температуры. А именно, при увеличении содержания углекислого газа атмосфера

нагревается сильнее, чем поверхность Земли, что приводит к более частому возникновению инверсии на верхней границе пограничного слоя и, следовательно, к увеличению нижней облачности и уменьшению приходящей к поверхности солнечной радиации.

Было показано, что в умеренных широтах Евразии потепление в холодное полугодие значительно сильнее (3-5 градусов), чем в теплое полугодие (1-1.5 градуса). Значительная часть зимнего потепления (1.5-2 градуса) связана с увеличением индекса арктической осцилляции (АО).

С помощью численных экспериментов с моделью общей циркуляции атмосферы в режиме непрерывного января показано, что проекция отклика модели на АО на заданный зонально-симметричный источник тепла максимальна, когда источник расположен в нижней полярной стратосфере.

Н.А. Дианский

Исследование долгопериодной изменчивости климата и роли океана в её формировании

1. Развитие глобальной модели общей циркуляции океана.

Реализована новая версия модели океана с возможностью произвольного расположения полюсов и с дискретизацией на сетке "С", позволяющей точнее описывать условия на боковых границах и обладающей меньшей диссипативностью.

Реализована модель Северной Атлантики с разрешением $0.3333^{\circ} \times 0.265 \times 21$ (совместно с академиком А.С.Саркисяном и студентом 5-го курса МФТИ С.Я.Лукияновым (кафедра океанологии)), по которой проведены климатические расчеты циркуляции Северной Атлантики на 16 лет (сценарий международного проекта сравнения моделей океана "Динамо"). Анализ результатов показал вполне адекватное (по сравнению с другими моделями) качество воспроизведения характеристик климатической циркуляции.

2. Развитие совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана.

Обработаны результаты двух 80-летних экспериментов с совместной моделью общей циркуляции атмосферы и океана ИВМ РАН (Дианский, Володин 2002; Володин, Дианский 2003). Совместная модель не использует коррекцию потоков на поверхности океана. Эксперименты проводились по сценарию СМIP.

В первом (контрольном) эксперименте концентрация CO_2 в атмосфере была постоянной. Во втором она увеличивалась на 1% в год. Сравнение характеристик климата, полученных в контрольном эксперименте, со средними по всем моделям СМIP показал, что созданная совместная модель вполне соответствует международному уровню.

По результатам экспериментов изучен отклик совместной модели на увеличение содержания CO_2 в атмосфере. Примерно треть потепления на поверхности Земли, а также большая часть увеличения осадков на севере Атлантики и Европы и их уменьшения на юге Европы связаны с увеличением индекса арктической осцилляции. Главным фактором роста среднеглобальной ТПО и формирования пространственной структуры отклика в ТПО является изменение радиационного баланса поверхности океана при увеличении концентрации CO_2 . Отклик в солёности поверхности океана главным образом определяется изменением баланса пресной воды на поверхности океана. При этом в Тихом океане наблюдается распреснение, а в Атлантическом в основном осолонение поверхностных вод.

Список литературы

- [1] *Дианский Н. А., Володин Е. М.* Воспроизведение современного климата с помощью совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана// Изв. АН. Физика атмосферы и океана. 2002. Т 6. С. 824–840.
- [2] *Володин Е.М., Дианский Н.А.* Отклик совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана на увеличение содержания углекислого газа// Изв. АН. Физика атмосферы и океана (в печати).

А.В. Глазунов

Разработка совместной вихреразрешающей модели пограничного слоя атмосферы и верхнего слоя океана

Разработаны негидростатические трехмерные модели верхнего слоя океана (ВСО) и пограничного слоя атмосферы (ПСА), способные воспроизводить крупномасштабные (сравнимые с толщиной перемешанных слоев) вихревые структуры, обусловленные как термической конвекцией, так и напряжением трения

ветра на поверхности океана. Модели объединены в совместную модель взаимодействия пограничных слоев. Взаимодействие между моделями осуществляется за счет обмена потоками импульса, тепла и влаги через поверхность раздела вода–воздух. При построении моделей использовалась методология вихреразрешающего моделирования, согласно которой крупномасштабные вихри, играющие важную роль в переносе импульса, тепла и соли (или влаги) внутри пограничных слоев, описываются явно. Для учета мелкомасштабной (с пространственными масштабами меньшими, чем размер ячейки сетки модели) изотропной турбулентности здесь применяются параметризации, связывающие энергию подсеточных движений с характеристиками более медленных процессов. Системы дифференциальных уравнений моделей состоят из уравнений типа Рейнольдса для описания эволюции импульса, тепла и соли (или влаги), уравнения неразрывности несжимаемой жидкости и уравнений состояния для морской воды и влажного воздуха. Для замыкания систем уравнений используются дополнительные уравнения эволюции турбулентной кинетической энергии мелкомасштабных вихрей и скорости диссипации турбулентной энергии. Проведен ряд численных экспериментов с полученными моделями, в которых удалось воспроизвести движения, подобные наблюдаемым в природе вихрям в атмосфере и океане. С моделью ВСО был проведен численный эксперимент, имитирующий выход на поверхность возмущения искусственного происхождения, заданного на глубине. Этот эксперимент показал способность модели ВСО усваивать и перераспределять в толще перемешанного слоя мощное (значительно превосходящее характерные для ВСО неоднородности) возмущение. Разработана параллельная версия вихреразрешающей модели ПСА. Для обменов между процессами используется стандарт MPI. Применяется 3-D разбиение расчетной области. Большинство обменов между процессами реализовано на основе неблокирующих функций приема-передачи. Это позволяет существенно сократить долю времени, необходимого для обменов (в проведенных тестах она составляла 10-15% от времени счета задачи). Реализация ориентирована на использование на суперкомпьютерах с распределенной памятью. При этом оперативная память, необходимая для хранения прогностических переменных модели, динамически распределяется между процессами, что снимает ограничения по памяти (при достаточном количестве расчетных модулей). Тестирование модели проводилось на кластере МВС 1000М, установленном в Межведомственном суперкомпьютерном центре.

А.И. Чавро

Решение обратной задачи по предсказуемости детальной структуры поля приземной температуры в г. Москве

В последнее время появился ряд публикаций по решению задачи прогноза детальной структуры геофизических полей на масштабах отдельного города на сутки и более короткие сроки (см., например, [1–3]). В этих работах предлагаются различные подходы, основанные на использовании гидродинамических моделей высокого разрешения, интерполяции крупномасштабных полей на мелкую сетку и др. Однако в этих работах не всегда должным образом используется априорная информация, не приводятся оценки ожидаемых погрешностей решения обратной задачи, не оптимальным образом проводится локально-адаптированная параметризация приземных процессов.

В настоящей работе предлагается статистическая модель восстановления среднесуточных значений детальной структуры поля приземной температуры (с разрешением ~ 8 км) на сети метеостанций г. Москвы по известным крупномасштабным значениям этого поля, предсказанным с помощью гидродинамической модели (с разрешением ~ 30 км). Аналогичный алгоритм был реализован нами для восстановления среднемесячных значений геофизических полей в отдельных регионах [4–6]). Метод основан на исчерпывающем использовании априорной информации о восстанавливаемых полях и статистических связях с крупномасштабными полями той же или другой природы. Такой подход позволяет получать не только решение задачи, но и априорную оценку погрешности решения, оценить надежность модели и информативность входной информации.

Если нам необходимо восстановить случайный вектор $f \in R^n$, описывающий распределение детальной структуры приземной температуры в Москве по предсказанному крупномасштабному полю $\xi \in R^n$, то алгоритм сводится к построению такого оператора $R = C_{f\xi}C_{\xi\xi}^{-1}$, где $C_{f\xi}$ и $C_{\xi\xi}$ — ковариационные матрицы, действие которого на вектор ξ , давало бы нам наилучшую, в среднем квадратичную, оценку для вектора f . Оценка погрешности при этом выражается соотношением $h = \sqrt{\frac{1}{h}tr(C_{ff} - C_{f\xi}C_{\xi\xi}^{-1}C_{\xi f})}$.

Метод был проверен на численных экспериментах, которые показали, что точность восстановления детальной структуры поля приземной температуры на сети метеостанций составляет $\sim 0,8$ градуса. Предложен также метод оптимального планирования экспериментов, основанный на выделении некоррелированных компонент входного вектора, вычислении их информативности по

отношению к восстанавливаемому вектору и фильтрации некоррелированных компонент.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 01-05- 64571).

Список литературы

- [1] *Беркович Л.В., Белоусов С.Л., Толкачева Ю.В., Калугина Г.Ю.* Оперативный гидродинамический краткосрочный прогноз метеовеличин и характеристик погоды в пунктах // Метеорология и гидрология. 2001, № 2. С.14–26.
- [2] *Булдовский Г.С.* Гидродинамический прогноз ветра по Москве и результаты его испытания // Информационный сборник № 26. — С.-Пб.: Гидрометеиздат, 2000. — С.8–17.
- [3] *Веселова Г.К., Беркович Л.В., Шахотъко Е.Н.* О результатах оперативных испытаний гидрометеорологического краткосрочного прогноза погоды по Москве на основе полусферной неадиабатической модели атмосферы // Информационный сборник № 25. — С.-Пб.: Гидрометеиздат, 1999.
- [4] *Чавро А.И.* О возможности восстановления среднемесячных значений поля высоты поверхности 500 гПа по некоторым функционалам этого поля // Метеорология и гидрология. 1998, № 1. — С.46–54.
- [5] *Дмитриев Е.В.* Оценка среднемесячных аномалий регионального поля приземной температуры по осредненным характеристикам глобального поля // Метеорология и гидрология. 2000, № 10. — С.25–36.
- [6] *Чавро А.И., Дмитриев Е.В.* Статистическая модель восстановления региональной структуры геофизических полей // Метеорология и гидрология. 2002, № 6. — С.39–49.

Е.В. Дмитриев

**Статистическая модель восстановления мелкомасштабного поля
приземной температуры в Московском регионе по
крупномасштабным значениям этого поля**

Построена статистическая модель для восстановления поля аномалий среднесуточных значений приземной температуры на сети метеостанций г. Москвы по их осредненным значениям на масштабах порядка 30 км. Проведены численные эксперименты с различными типами входных данных. Среднеквадратичная точность восстановления при нулевой ошибке входных данных составляет $0,79^\circ$ при естественной изменчивости $\sim 5^\circ$. Предложен новый метод оптимального планирования экспериментов, использованный в вышеописанной статистической модели. Метод основан на выделении некоррелированных частей для компонент входного вектора статистической модели и оценке их информативности к искомому решению задачи. Такой подход позволяет при заданной точности решения обратной задачи выделить оптимальный набор наиболее информативных измеряемых (или моделируемых) характеристик в качестве координат входного вектора. Предложен более простой вывод метода редукции решения обратных задач, чем в работах Ю.П. Пытьева.

А.А. Соколов

**Разработка алгоритмов решения обратных задач
спутниковой метеорологии**

Проведены численные эксперименты по восстановлению профилей температуры различными методами:

А) Линеаризация уравнения переноса с использованием теории сопряженных уравнений, предложенной Марчуком Г.И. и Чавро А.И. [1]. Эксперименты показали, что для получения удовлетворительного решения обратной задачи следует использовать методы регуляризации.

Б) Линейный [2,4,5] и нелинейный методы статистической редукции. Были построены операторы линейной и нелинейной редукции на основе банка данных [3] и решения прямой задачи теории переноса. Ошибка восстановления составила соответственно 0.7 и 0.5°C .

В) Вариационный метод. Ошибка восстановления составила два градуса.

Выбраны оптимальные частоты измерений для восстановления профиля температуры с учетом характеристик современной аппаратуры. Поскольку для решения задачи восстановления профилей температуры и поглощающих субстанций необходим точный расчет поглощения излучения в атмосфере, проведена корректировка алгоритмов расчета интенсивности уходящего излучения с учетом полинейного расчета коэффициента поглощения.

Проведено сравнение расчета коэффициента поглощения с моделью Института оптики атмосферы СО РАН. Поскольку для решения задачи необходимы статистические характеристики атмосферных параметров, была проведена статистическая обработка данных Европейского центра среднесрочного прогноза [3].

Разработана модификация метода редукции, позволяющая учесть нелинейные связи случайных величин. Проведены численные эксперименты.

Список литературы

- [1] *Marchuk G.I. Chavro A.I.* On the Statement and Solution of Inverse Problems in Sattelite Meteorology // Russ. I. Numer. Anal. Math Modelling. 1998. V.13, N 6, P.501–515.
- [2] *Rodgers C.D.* Retrieval of atmospheric temperature and composition from remote measurements of thermal radiation // Rev. Geophys. Space Phys. 1976, 14. P.609–624.
- [3] *Chevallier F.* Sampled database of 60-level atmospheric profiles from the ECMWF analyses. EUMETSAT/ECMWF, SAF programme // Research Report N 4. 2001.
- [4] *Успенский А. Б.* Обратные задачи математической физики — анализ и планирование экспериментов и математические методы планирования эксперимента. — Новосибирск.: Наука, 1981. — С.199–242.
- [5] *Пытьев Ю. П.* Математические методы интерпретации эксперимента. — М: Высшая школа, 1989. — 352 с.

Роль Мирового океана в глобальных изменениях окружающей среды

1. Проведено дополнительное исследование установившейся климатической циркуляции Мирового океана и условий формирования ее множественных равновесных состояний при идентичном атмосферном воздействии (Marchuk, Schroeter, Zalesny, 2002). Были изучены два основных вопроса:

- какова чувствительность глобальной термохалинной циркуляции и ее множественных режимов к изменению параметров модели: придонного трения, береговой границы и рельефа дна?
- как зависит равновесный режим циркуляции от пространственной структуры начальных полей температуры и солености?

Вычислительный эксперимент показал разную степень чувствительности равновесного решения к изменению коэффициента трения. Наименьшие изменения происходят в случае "тяжелого" океана, разность между различными равновесными состояниями при уменьшении трения — увеличивается.

При изучении зависимости равновесного режима от пространственной структуры начальных полей температуры и солености установлено, что важнейшими параметрами, определяющими индивидуальность равновесного режима, являются глобальные средние значения запасов тепла и соли. Показано, что при разной горизонтальной и вертикальной структуре начальных полей температуры и солености установившиеся решения могут не только отличаться друг от друга, но и совпадать. Совпадение решений наблюдается в том случае, если соответственно совпадают начальные значения средних по объему полей температуры и солености.

2. На основе численного моделирования рассмотрена задача реакции экваториального океана к аномалиям солености на поверхности в Южном океане.

Анализ данных наблюдений, проведенный различными авторами в последние 3–4 года, показал наличие связей между процессами, происходящими в тропиках Тихого океана и акваториях Южного океана. Так, например, имеются значимые корреляции между аномалиями температуры поверхности океана у берегов Перу (явление Эль-Ниньо) и площадью ледового покрытия в морях Беллинсгаузена, Амудсена и Уэдделла. В настоящее время не построена теория

этого процесса, протекающего в совместной системе атмосфера – океан – лед, и не определена в нем относительная роль отдельных сред, в частности атмосферы и океана.

В рамках данной проблемы сделано предварительное исследование, связанное с изучением возможной роли океана в передаче сигнала от южных полярных широт в тропическую зону. Проведена серия численных экспериментов с различным сеточным разрешением, рельефом дна и разными характеристиками внешнего воздействия (Ivchenko, Zalesny, Drinkwater, Schroeter, 2002).

Обнаружен механизм быстрой, за 2–3 месяца, передачи сигнала из локализованных подобластей с аномальной соленостью у берега Антарктиды в район формирования Эль-Ниньо (тропики Тихого океана). Процесс имеет волновой характер. Он состоит из последовательной цепочки: топографическая волна Россби — экваториально-захваченная волна — береговая волна Кельвина, распространяющаяся вдоль западного берега Тихого океана.

Список литературы

- [1] *Marchuk G.I., Schroeter J., Zalesny V.B.* Mathematical modelling of the World ocean general circulation: numerical technique and multiple equilibria of model solutions // *Ocean modelling*. 2002.
- [2] *Ivchenko V.O., Zalesny V.B., Drinkwater M.R., Schroeter J.* A quick response of the equatorial ocean to Antarctic sea ice/salinity anomalies // *Journal of Physical Oceanography*. 2002.

С.Н. Мошонкин, Н.А. Дианский, С.Я. Лукьянов, Н.Ю. Митюшин**

*Московский физико-технический институт

О связях аномалий температуры, течений и ветра в процессе изменений климата Северной Атлантики с периодами в десятки лет

По массивам банка данных обобщенных наблюдений UWM/COADS [3] исследованы временная эволюция и пространственное распределение ежемесячных аномалий температуры поверхности океана (АТПО) одноградусного разрешения за 1945–89 гг.. С помощью фильтра Фурье в реализациях АТПО выделены масштабы временной изменчивости более десяти лет.

В результате выявлено, что по всей акватории Северной Атлантики (СА) — от тропиков до субарктики — произошли одни и те же климатические события. Это "эпохи": теплая 1950-х и холодная 1970-х годов со сменой фаз в 1960-е годы. Теплая эпоха для всей Северной Атлантики как бы растянулась с начала 1950-х годов почти до середины 1960-х; холодная эпоха охватывает практически все 1970-е годы.

Источник этой многодесятилетней изменчивости находится в полосе широт от 35 до 40° с.ш., откуда долгопериодные АТПО распространяются на юг и на север. Так, например, скорость распространения потепления на север от 40 к 60° с.ш. в 1952–1960 гг. и на юг от 40 к 20° с.ш. в 1952–1964 гг. составляет около 160–180 км/год.

Эти возмущения теплосодержания деятельного слоя океана в области субтропиков имеют период близкий к 20 годам; при этом амплитуда их временных колебаний угасает по направлению к югу. В области же севернее 40° с.ш. доминируют возмущения с периодом вдвое больше — 40 лет, с амплитудой, увеличивающейся к северу (почти двойной рост АТПО к 60° с.ш.).

Для комплексного анализа этой изменчивости методом диагноза-адаптации с помощью модели циркуляции океана одноградусного разрешения ИВМ РАН реконструированы и динамические, и термohалинные поля теплой (1950-е) и холодной (1970-е) "эпох". Климатический сигнал как разность различных характеристик океана между этими "эпохами" (среднее за 1970–74 гг. минус среднее за 1955–59 гг.) имел составил около 30% от климатической нормы, который можно считать характерным для изменчивости временных масштабов в 20–40 лет.

Обнаружена связь генерации и распространения крупномасштабных АТПО с процессами ветвления и неустойчивости Гольфстрима в районе его отхода от

берега. Именно в полосе широт от 35 до 40° с.ш. в слое 0–500 м происходят наибольшие изменения в поле скорости течений, характеризующиеся средним горизонтальным масштабом 700–800 км. Выявлены также процессы нарастания аномалий температуры в деятельном слое океана к северной границе Атлантики.

При переходе от теплой "эпохи" к холодной меридиональный перенос тепла на север увеличивался в тропиках и уменьшался севернее 35° с.ш.; соответственно изменялось и теплосодержание деятельного слоя океана. Оно было выше в тропиках и снижалось в средних широтах.

Выявлена сложная многослойная вертикальная структура динамических и термохалинных полей долгопериодной изменчивости океана. Наиболее принципиальные изменения происходят в поле скорости в верхней половине бароклинного слоя до горизонта в 500 м. Они характеризуются в целом снижением северных составляющих меридионального компонента течения и ростом восточных составляющих зонального компонента.

Климатический сигнал создавал условия для роста обособленности субтропического антициклонического (СТАН) и субарктического циклонического (САЦ) вращений вод в Северной Атлантике при переходе от теплой "эпохи" к холодной. Это связано с увеличением сброса вод Гольфстримом на восток и юго-восток в Азорское течение и противогольфстрим, а также с уменьшением расходов Северо-Атлантического течения и обменов между СТАн и САЦ. Отмеченные различия временных масштабов и амплитуд АТПО в тропиках и на севере СА связаны именно с этим обособлением СТАн и САЦ. Таким образом на масштабах 20–40 лет проявляется тесная взаимосвязь полей масс (термики) и движений.

Были рассчитаны совместные наиболее взаимосвязанные (и наиболее взаимообусловленные) моды климатических изменений аномалий ветрового напряжения (АВН) и АТПО [3]. Первые пять мод ответственны за 90% общей изменчивости как АВН, так и АТПО. В процентах вклада в общую дисперсию они характеризуются следующим распределением: 37–39 → 17–21 → 15–17 → 7–11 → 8. И хотя первые две моды явно преобладают, это распределение говорит о сложном нелинейном характере взаимодействия океана и атмосферы в процессе изменений с периодами в 10 и более лет.

Первой моде взаимодействия "АВН–АТПО" (36.7% для АВН и 38.6% для АТПО) свойственна отрицательная обратная связь, способствующая поддержанию температуры океана на уровне климатического состояния. Вторая мода

(21.0% для АВН и 16.7% для АТПО) в основном характеризуется положительной обратной связью, а океан выступает как активное звено, индуцирующее дополнительную геострофическую циркуляцию в приводном слое атмосферы.

Таким образом, анализ механизмов климатической изменчивости термохалинных и динамических полей Северной Атлантики (СА) и связей аномалий циркуляции СА с АТПО и АВН, проведенный ранее в работах [1] и [2], теперь дополняется ещё и тем, что при изучении обнаруженной ранее отрицательной обратной связи атмосферного воздействия и циркуляции в средних широтах СА в процессе колебаний климата с периодами в десятилетия [1, 2] необходимо учитывать еще и: 1) типы бифуркации Гольфстрима при отходе его от берега; 2) обособленность процессов в СТАн и САЦ и 3) обмены свойствами СА и Северного Ледовитого океана (рост и большие АТПО на севере СА). Именно в этом направлении и будет продолжено уточнение физических основ океанических механизмов поддержания колебаний климата системы Северная Атлантика – Северный Ледовитый океан.

Список литературы

- [1] Багно А.В., Дианский Н.А., Мошонкин С.Н. Взаимодействие аномалий температуры поверхности океана и циркуляции Северной Атлантики // Океанология. 1996, том 36, N.5, с.693–703.
- [2] Залесный В.Б., Мошонкин С.Н. Влияние аномалий температуры поверхности океана и ветра на изменчивость характеристик Мирового океана с периодами от одного до нескольких десятилетий // Изв.АН. Физика атмосферы и океана. 2002, т.38, No.2, с.226–240.
- [3] *da Silva A.M., Young C.C., Levitus S.* Atlas of surface marine data 1994. NOAA Atlas NESDIS 6. Washington, D.C., December 1994.

Моделирование системы океан – лед в Арктике на основе модели циркуляции Мирового океана

Для совместной модели климата, состоящей из атмосферной и океанской частей, реализована улучшенная параметризация морского ледового покрова.

Блок нарастания – таяния льда, разработанный в ИВМ [2], вставлен в модель динамики Мирового океана с разрешением $2.5^0 \times 2^0 \times 33$ уровня [1]. Выполнена необходимая процедура стыковки алгоритмов и проведены тестовые расчеты их совместной работы. Новая термодинамическая модель льда описывает разводья, несколько градаций льда по толщине, учитывает наличие снега, а также такие эффекты, как боковое таяние льда, уплотнение снега в лед и так далее. Таким образом, модель льда является физически наиболее полной. Внешним воздействием при формировании льда служат характеристики приводного слоя атмосферы и компоненты радиационного баланса.

Расчеты показали, что модель океан – лед удовлетворительно описывает циркуляцию вод Арктики и области Северной Атлантики к северу от 45° с.ш., а также толщину ледового покрова. В качестве внешнего воздействия был задан климатический сезонный ход по данным реанализа NCEP / NCAR.

Другим важным направлением данной работы является исследование чувствительности сезонного хода характеристик вод и морского льда Северного Ледовитого океана к используемым параметризациям.

Список литературы

- [1] *Дианский Н. А., Багно А. В., Залесный В. Б.* Глобальная модель общей циркуляции океана и ее чувствительность к вариациям ветрового напряжения трения // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2002. Т.38. N.4. С. 537–556.
- [2] *Яковлев Н. Г.* Совместная модель общей циркуляции океана и динамики–термодинамики морского льда: описание и результаты расчетов по воспроизведению климатического состояния Северного Ледовитого океана // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2002. (в печати).

Исследование процессов взаимодействия газовых примесей с аэрозольными частицами в средних и высоких широтах

В отличие от среднеширотной атмосферы для Арктики характерна более низкая температура. Поэтому для различных температурных режимов исследовалась, в частности, скорость образования сульфатных частиц. Как показывают наблюдения, концентрации сульфатов не всегда хорошо коррелируют с концентрациями двуокиси серы. Этот факт указывает на то, что скорость образования сульфатов может контролироваться и другими факторами, помимо локальных выбросов двуокиси серы. Для того чтобы понять природу и закономерности поведения сульфатных частиц, взвешенных в атмосфере, рассматривался вклад различных источников этих веществ с учетом переноса, перемешивания и выведения частиц, а также микрофизических и химических свойств.

Показано, что если кинетика раствора быстрее кинетики газовой фазы, то скорость изменения состава аэрозольных частиц будет определяться количеством достигающего его газа. В противном случае количество газа, попадающего в раствор, определяется скоростью изменения состава аэрозольных частиц. Численные эксперименты для оценки вклада различных механизмов образования сульфата в зависимости от условий окружающей среды проводились путем вариации начальных значений концентраций газов и температуры, а также состава в зависимости от размеров. Вычислялись спектры размеров частиц образовавшегося аэрозоля для летнего и зимнего дней, а также летней ночи, и анализировалась изменчивость сульфатного аэрозоля и причины их отличия. Предполагается провести дальнейшие численные эксперименты на длительные сроки с использованием реальных данных о метеоэлементах и источниках эмиссий.

Кроме того, разработана гидродинамическая численная модель влажной конвекции и образования облачности с явным описанием жидкой и ледяной фаз, микрофизических процессов с использованием кинетических уравнений. Проводились предварительные численные эксперименты.

В. О. Арутюнян

Численное моделирование загрязнения атмосферы на разных масштабах с применением различных химических механизмов

Разработана численная модель переноса и фотохимической трансформации атмосферных примесей в нижней тропосфере с использованием методики вложенных сеток, когда граничные условия для малой области определяются из решения задачи в большей области. Численные эксперименты проводились для моделирования загрязнения воздуха в регионе Хьюстон–Гальвестон (вложенные сетки с горизонтальным разрешением 32, 16 и 4 км соответственно, с одинаковым вертикальным разрешением). Использовались метеорологические данные и данные выбросов от точечных и площадных источников, полученные во время полевых измерений ТехAQS-2000. Результаты численных экспериментов, проведенных для периода с 25 августа по 1 сентября 2000 г., сравнивались с данными ежечасных наблюдений на 34 измерительных станциях, расположенных в регионе моделирования. Сопоставление результатов показало хорошее качественное и количественное согласие.

Проводились численные эксперименты по совместной усовершенствованной модели гидротермодинамики мезомасштабных атмосферных процессов и переноса примеси с учетом фотохимической трансформации для исследования пространственно-временной изменчивости полей метеоэлементов и формирования бризовой циркуляции, а также оценки их влияния на концентрации распространяющихся в атмосфере примесей. Также осуществлен интерфейс модели с химическим механизмом, в котором органические вещества в атмосфере группируются на основе типа химических связей между атомами углерода с целью сопоставления результатов численных расчетов с данными настоящей модели.

П. И. Лузан

Численное моделирование взаимодействия облачных частиц с газовыми и аэрозольными примесями и проведение численных экспериментов на параллельных вычислительных системах

Проведена серия численных экспериментов по моделированию формирования кучевой облачности. Исследована пространственно-временная изменчивость водности в формирующемся облаке, а также зависимость процессов облакообразования от спектра ядер конденсации в окружающей атмосфере.

Модель фотохимического загрязнения атмосферы больших городов и формирования сульфатного аэрозоля адаптирована для расчетов на параллельных вычислительных системах различной архитектуры. Подготовлены программные комплексы как для систем с общей памятью (SMP), так и для распределенных систем. Реализация для последнего случая выполнена на основе библиотеки обмена сообщениями MPI. Параллельное ускорение при выполнении на SMP-системе с числом процессоров $N=2$ составляет 1.9, а на MPI-системе при $N=44$ ускорение достигает 28.

Подготовлена кандидатская диссертация по теме "Численное моделирование конвективной облачности с учетом кинетических процессов".

В.В. Козодеров

Новые подходы к исследованиям биосферы из космоса

Существующие методы обработки многоспектральных космических изображений почвенно-растительного покрова основываются на известной эмпирической концепции <вегетационных индексов> - некоторых комбинаций измерительных каналов сканирующих спутниковых радиометров. При этом в развиваемых таким образом методах недостаточно используются современные достижения в области вычислительной математики и функционального анализа. Для устранения этого недостатка предлагается функциональное описание прямых задач формирования яркостных образов наблюдаемых объектов в виде отдельных строк и столбцов используемых измерительных каналов соответствующей аппаратуры при заданных углах визирования природных объектов, зенитных углах Солнца в момент съемки и конкретном состоянии атмосферы. Обратные задачи сводятся к нахождению предметно-специфических характеристик природных объектов (для лесной растительности это объем зеленой фитомассы листвы/хвои) для каждого элемента обрабатываемого изображения. В предлагаемых новых подходах, наряду с обращением регистрируемого на спутнике функционала яркостей, применяются методы распознавания образов и анализа сцен, так что отдельные элементы изображений представляются в терминах объема фитомассы — параметра, инвариантного относительно угловых условий съемки и визирования наблюдаемых экосистем из космоса. При получении новой информационной продукции используются меры близости каждого из элементов многоспектрального изображения к заданным эталонам спектральной

отражательной способности выделенных классов (лиственные, хвойные, смешанные). Эталонные образы наблюдаемых объектов характеризуют "нормальное состояние", относительно которого производится регуляризация получаемых решений для каждого из этих классов. Для конкретного изображения высокого пространственного разрешения (около 20 м) выбранной тестовой территории показаны результаты классификации лесной растительности с малыми, средними и высокими значениями зеленой фитомассы. Точности восстановления этих значений ухудшаются по мере увеличения общей биомассы выделенных классов, что приводит к необходимости рассмотрения аналогичных подходов для микроволновой области спектра, наряду с предлагаемыми оптическими методами дистанционного зондирования. При моделировании временного хода спектральных образов лесных экосистем обычно также используются эмпирические знания и феноменологические уравнения описания обменных процессов. Предлагаются новые модели, основанные на уравнениях эволюции волновых функций для отдельных частиц и плотностей распределения вероятности для статистических ансамблей (отдельные реализации таких систем могут носить случайный характер, но для ансамбля в целом применимы детерминированные уравнения). Рассматривается применимость предлагаемого подхода с заданными операторами эволюции как для интегрируемых, так и неинтегрируемых систем. Исходными являются самосопряженные/эрмитовы операторы, которые описываются матрицами с неравными нулю только диагональными элементами (для частиц это оператор Гамильтона, для ансамблей — оператор Лиувилля). Решения получаемых уравнений для интегрируемых систем и вещественных собственных значений описывают независимое поведение отдельных мод исследуемых обратимых процессов в гильбертовых пространствах непрерывных функций. Для неинтегрируемых систем, резонансных мод и получаемых таким образом необратимых процессов решения оказываются аналогичными, но приходится при этом уходить в обобщенные пространства сингулярных функций для описываемых хаотических явлений с комплексными собственными значениями указанных операторов. В наиболее общем случае использования матрицы распределения для статистических ансамблей вместо самосопряженного оператора появляется неравный нулю коммутатор оператора Гамильтона и данного матричного оператора (неравенство нулю коммутатора означает то, что собственные функции каждого из этих операторов различны). В этом случае появляется возможность рассмотрения неравновесных процессов с кососимметричной матрицей собственных значений: на главной диагонали нули; существова-

ние описываемых таким образом согласованных <организмов> поддерживается исключительно за счет разного уровня корреляций, т.е. недиагональных членов. В итоге решаются уравнения для отдельных матричных элементов: для средних значений оператора перехода от энергетического спектра падающего солнечного излучения к спектрам отражательной способности наблюдаемых классов лесных экосистем; для корреляционных функций связи элементов матрицы плотности ансамбля и энергетики падающего излучения и т.д. Необратимость процессов роста/изменения растительности можно описать также добавлением в правую часть рассматриваемых уравнений нелинейного оператора коллапсов волновой функции и/или статистического ансамбля. Коллапс распределения вероятности означает локализацию действия "легких частиц" (фотонов) в конкретных проявлениях поведения <большой частицы> (ансамбля, представляемого соответствующим однородным классом лесной растительности). Оператор коллапсов состоит из двух слагаемых: первое характеризует необратимое разрушение когерентности ансамбля (это слагаемое — некоторый аналог силы трения в известном уравнении Ланжевена, описывающем изменение системы под действием случайной силы); второе слагаемое описывает необратимый процесс коллапсирования при выборе случайной проекции в имеющихся дискретных наборах собственных функций на одно из состояний с уничтожением всех остальных состояний. При этом коллапс волновой функции или функции распределения статистического ансамбля происходит при очень малых внешних возмущениях, которые могут изменить только недиагональные элементы матрицы плотности за счет декогерентности фаз, что снова указывает на особую роль недиагональных элементов матрицы плотности в процессе роста/изменений лесных экосистем как некоторых согласованных "организмов".

В.С. Косолапов

Методы устранения систематических ошибок в данных аэрокосмических многоканальных измерений

Решение обратных задач атмосферной оптики требует привлечения самых совершенных методик обработки данных дистанционных измерений, позволяющих количественно определять значения наиболее важных характеристик системы атмосфера – лесная растительность, например плотность лесной зеленой фитомассы M (т/га).

Успешно решать данную обратную задачу позволяет недавно разработанный метод обработки многоканальных аэрокосмических измерений [1]. В частности, показано, что ключевая роль в восстановлении искомым характеристик рассматриваемой системы принадлежит меняющейся в процессе обработки данных величине Δ -программной точности поиска двухканальных решений, являющейся своеобразным регуляризатором решения задачи. При оптимальном значении этой величины находятся наилучшие решения (с наименьшими ошибками) для всех искомым параметров системы. Оптимальность достигается в момент появления полного (максимального) числа двухканальных решений. Кроме того, данная величина есть мера неадекватности используемой модели: ее большие значения при восстановлении свидетельствуют о больших систематических (и/или случайных) ошибках и, следовательно, о неадекватности используемой модели.

Для повышения точности восстановления параметров состояния лесной растительности вышеуказанного метода рассмотрено влияние систематических ошибок (между измерительными данными многоканального дистанционного зондирования и их расчетными значениями по модели) на результаты восстановления указанных параметров [2]. Интерес к систематическим ошибкам обусловлен их тесной связью с вопросом использования адекватных моделей системы атмосфера – лесная растительность при решении обратных задач.

На примере модельных трансект, состоящих из лиственных и хвойных пород, показаны особенности проявления систематических ошибок при восстановлении таких параметров, как плотность зеленой фитомассы листвы/хвои и тип/класс лесной растительности. Получены следующие результаты [2]:

1. Исследованы причины появления (и их влияние на точность восстановления значений параметров) основных (наиболее вероятных) систематических ошибок — калибровки; в принятых в модели значениях отражательной способности разных классов лесной древесной, а также травянистой/кустарниковой растительности; в значениях (в модели) атмосферных параметров — прозрачности P и яркости атмосферной дымки D .

2. Предложены два метода уменьшения/ исключения систематических ошибок:

- метод коррекции данных измерений;
- метод коррекции (адекватизации) модели.

В методе коррекции данных на этапе предобработки на основании выборочных данных с помощью специальной программы находятся корректирующие

поправки (векторы коррекции) к данным измерений (для каждого класса лесной растительности). Этот метод устраняет лишь постоянную составляющую систематических ошибок и эффективен в тех случаях, когда переменная составляющая невелика (лес сравнительно однороден).

Для полного устранения систематических ошибок предложен метод коррекции (адекватизации) модели, корректирующий с помощью специальной программы значения тех параметров модели, которые могут приводить к появлению систематических ошибок, для чего, как и в предыдущем случае, используется условие минимума $\Delta_{п, i}$ (i — номер канала) и СКО $\Delta_{п, i}$ (среднеквадратичное отклонение) для пробной выборки на этапе предобработки данных. Главная проблема указанного метода — его трудоемкость (требуется много компьютерной памяти и быстродействия).

Список литературы

- [1] Козодеров В.В., Косолапов В.С. Оценка точности аэрокосмического многоканального метода восстановления плотности лесной зеленой фитомассы по результатам моделирования // Исслед. Земли из космоса. 2002. № 1. С.72–80.
- [2] Косолапов В.С. Повышение точности восстановления параметров состояния лесной растительности в методе аэрокосмического многоканального зондирования // Исслед. Земли из космоса. 2002. № 6. С.1–14.

В.Д. Егоров

Моделирование формирования кислотности в атмосферных условиях и изучение механизмов ее попадания в облачные системы

За отчетный период было осуществлено дальнейшее развитие модели распространения многокомпонентной примеси с учетом взаимодействия компонент, кинетики конденсации парообразных компонент, динамики спектров размеров атмосферных частиц и слоистой облачности для Европейского региона [1]. Наряду с изучением с помощью модели конденсационного механизма образования атмосферной кислотности и ее попадания в облачные слои, связанного с процессами конденсации образующегося при распространении двуокиси серы от ее

источников пара серной кислоты и атмосферного водяного пара на атмосферном аэрозоле, ядрах конденсации и облачных каплях, к настоящему времени был изучен механизм образования кислотности непосредственно в облачных каплях за счет реакций двуокиси серы в жидкой фазе с такими компонентами, как H_2O_2 и O_3 . С этой целью в модель был включен разработанный новый блок взаимодействия компонент в газовой фазе с учетом процессов формирования радикала OH в атмосфере, который наряду с описанием наиболее существенных взаимодействий, ведущих к образованию серной и азотной кислот от окислов серы и азота в атмосфере, описывает изменения уровня концентраций как радикала OH , так и H_2O_2 . В модель был также включен вновь созданный блок реакций в жидкой фазе для SO_2 [2].

С целью тестирования газофазного блока модели с его помощью были воспроизведены результаты работы [3]. Дополнительному тестированию был подвергнут также модельный блок расчета кинетики конденсации методом прямых. Результаты тестирования говорят об адекватности воспроизведения и хорошей точности рассчитываемых с использованием этих блоков характеристик.

Были осуществлены численные эксперименты с пространственной моделью для Европейского региона с использованием в ней вновь созданных блоков. Показано, что для условий проведенных с моделью численных экспериментов потоки кислотного вещества к облачным слоям за счет конденсационного механизма и механизма реакций SO_2 в жидкой облачной фазе могут быть сопоставимы по величине.

Разработанная ранее система по созданию компьютерных фильмов по результатам расчетов по модели была переведена за отчетный период на новую программно-системную основу, что позволило значительно увеличить возможности системы и улучшить качество создаваемых с ее помощью компьютерных фильмов. С использованием новой системы были созданы компьютерные фильмы: в том числе был создан фильм, иллюстрирующий процесс формирования кислотности в облачной среде над Европой за счет реакций SO_2 в жидкой фазе по результатам расчета по модели.

Список литературы

- [1] Козодеров В.В., Егоров В.Д. Модель формирования кислотных соединений в атмосфере с учетом трансформации аэрозольных частиц и облачности // Исслед. Земли из космоса. 2002. N 4. С. 21–31.

- [2] *Seigneur C., Saxena P.* A study of atmospheric acid formation in different environments // *Atmospheric Environment*. 1984. Vol. 18. P.2109–2124.
- [3] *Hesstvedt E., Hov O., Isaksen I.S.A.* Quasi-Steady-State approximations in air pollution modeling: comparison of two numerical schemes for oxidant prediction // *Int. J. Chem. Kinet.* 1978. Vol. X. P.971–994.